БЕЗРАКЕТНАЯ ИНДУСТРИАЛИЗАЦИЯ БЛИЖНЕГО КОСМОСА: ПРОБЛЕМЫ, ИДЕИ, ПРОЕКТЫ

2024



uSpace

ООО «Астроинженерные технологии»
ЗАО «Струнные технологии»

БЕЗРАКЕТНАЯ ИНДУСТРИАЛИЗАЦИЯ БЛИЖНЕГО КОСМОСА: ПРОБЛЕМЫ, ИДЕИ, ПРОЕКТЫ

Сборник научных трудов
VII Глобальной конференции
по индустриализации ближнего космоса
(Марьина Горка, 13–14 сентября 2024 г.)

Минск
«СтройМедиаПроект»
2025

Содержание

Приветственное слово Анатолия Юницкого,
доктора философии транспорта, главного инвестора,
председателя организационного комитета
VII Глобальной конференции по индустриализации ближнего космоса — 10

Приветственное слово Игоря Кожина,
главы Центра международного промышленного сотрудничества ЮНИДО
в Российской Федерации — 13

Приветственное слово Петра Витязя,
академика НАН Беларуси, доктора технических наук,
профессора, заслуженного деятеля науки,
начальника управления аэрокосмической деятельности НАН Беларуси,
заместителя руководителя Агентства по космическим исследованиям НАН Беларуси — 14

Приветственное слово Валерия Клюшникова,
академика Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского,
доктора технических наук, главного научного сотрудника АО «ЦНИИмаш» — 16

Приветственное слово Михаила Свердлова,
директора Фонда поддержки деловых коммуникаций БРИКС+ — 17

Приветственное слово Нитина Гадкари,
доктора филологических наук, магистра коммерции,
министра автомобильного транспорта и шоссейных дорог Индии — 18

Приветственное слово Юрия Плескачевского,
члена-корреспондента НАН Беларуси, доктора технических наук,
профессора, заслуженного деятеля науки Республики Беларусь — 20

Приветственное слово Юрия Хаханова,
кандидата экономических наук, директора по акселерации,
руководителя направления «Городские технологии» фонда «Сколково» — 22

Приветственное слово Арсения Митько,
члена-корреспондента Российской академии естественных наук,
кандидата технических наук, доцента,
президента Арктической общественной академии наук — 23

Программа «ЭкоМир»
Юницкий А.Э. — 24

Секция
**ГЕОКОСМИЧЕСКИЕ И ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ,
ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И РЕСУРСЫ**

**Глобальные экологические проблемы
индустриализации околоземного космического пространства**
Клюшников В.Ю. — 80

Утилизация отходов космической индустрии
Юницкий А.Э. — 92

**Происхождение «реликтового» излучения
согласно теории Гипервселенной**
Хачатуров Р.В. — 100

**Система управления движением линейных роторов
общепланетарного транспортного средства**
Юницкий А.Э., Лукша В.Л. — 110

**Разработка гибридного электромагнитного подвеса ротора
общепланетарного транспортного средства**
Юницкий А.Э., Карпей Ф.С., Лукша В.Л. — 118

**Анализ влияния ветра, волн и морских течений
на плавучую эстакаду общепланетарного транспортного средства**
Юницкий А.Э., Артюшевский С.В., Мелконян Р.Л., Карпей Ф.С. — 128

**Аэродинамические характеристики экваториальной эстакады
общепланетарного транспортного средства**
Юницкий А.Э., Дьяков И.И., Щербич А.А. — 138

**Аэродинамика ультраскоростного юнимобиля при движении в тоннеле эстакады
общепланетарного транспортного средства**
Юницкий А.Э., Щербич А.А., Дьяков И.И. — 152

**Аэродинамика подвижного состава в тоннельных структурах эстакады
общепланетарного транспортного средства**
Юницкий А.Э., Щербич А.А., Дьяков И.И. — 164

Комплексный подход к определению показателей надёжности общепланетарного транспортного средства 176
Бочкарёв Д.И., Шевченко Д.Н.

Секция
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ГЕОКОСМИЧЕСКИЕ НАУКИ, ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И РЕСУРСЫ

Применение общепланетарного транспортного средства в качестве элемента единой энергетической системы Земли 186
Юницкий А.Э., Гаранин В.Н., Боровик А.А.

Применение технологий замкнутого ядерного топливного цикла для функционирования общепланетарного транспортного средства 194
Юницкий А.Э., Гаранин В.Н., Боровик А.А.

Электрогидроударная установка для получения водоугольного топлива 202
Юницкий А.Э., Першай Н.С., Арнаут С.А., Борисевич И.О., Конёк Д.А.

Оптимизация душевого потребления энергии техногенной цивилизацией в биосфере планеты 212
Юницкий А.Э., Гаранин В.Н., Климков А.Г., Ковалёв Р.С.

Перспективы применения электроразрядных технологий при создании замкнутых экосистем 228
Юницкий А.Э., Арнаут С.А., Литвинчук А.А.

Перспективы использования дополнительного источника кислорода в двигателе внутреннего сгорания 244
Юницкий А.Э., Третьякова Т.Г., Зыль Н.С., Лукша В.Л.

Секция
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЗАМКНУТЫХ ЭКОСИСТЕМ БИОСФЕРНОГО ТИПА НА ЗЕМЛЕ И В КОСМОСЕ

Биотехнологическое восстановление пустынь как способ предотвращения продовольственных и энергетических проблем 258
Юницкий А.Э., Зыль Н.С., Павлюченко А.М., Парфенчик М.М.

Изучение активности микробиоты почвы при высоком содержании солей 274
Юницкий А.Э., Пятакова Т.И., Корней В.В., Буглак П.А., Конёк Д.А.

Применение *Chlorella vulgaris* для повышения эффективности перепеловодства в ЭкоКосмоДоме 286
Юницкий А.Э., Павлюченко А.М., Жешко Н.В.

Изучение процесса микосимбиотрофии базидиальных грибов 296
Буглак П.А., Пятакова Т.И., Налетов И.В.

Терапевтическое применение эфирных масел лекарственных трав в условиях ЭкоКосмоДома 304
Веремко Е.В., Коледа А.В.

Разработка и создание оборудования для культивирования растений в условиях искусственной среды 312
Юницкий А.Э., Сохор А.А., Василевич В.В.

Биотехнологическая переработка бытовых отходов в ЭкоКосмоДоме 326
Юницкий А.Э., Зыль Н.С., Налетов И.В., Заяц В.С., Павлюченко А.М., Пятакова Т.И., Буглак П.А.

Индукция корнеобразования у амаранта овощного под воздействием элиситора из трутовика лакированного 338
Крюков Е.А., Заяц В.С., Налетов И.В.

Влияние элиситоров бактериального происхождения на рост и развитие гороха полевого 346
Заяц В.С., Налетов И.В., Крюков Е.А.

Биохимический состав плодов яблони при использовании эликсира плодородия uTerra 354
Юницкий А.Э., Налетов И.В., Заяц В.С., Бойко К.А.

Методический подход к определению пищевой ценности продуктов питания 362
Корней В.В., Нестерович Д.Д., Зыль Н.С., Шерешовец Е.В.

Конструктивные решения струнного мембранного шатра в рамках объекта «ЭКД-Земля» 378
Юницкий А.Э., Шутько К.В., Нарейко С.С.

Моделирование закрытого биосферного пространства в шатре, имеющем светопрозрачное плёночное покрытие 388
Юницкий А.Э., Давыдик М.М.

Секция
СОЦИАЛЬНЫЕ, ПРАВОВЫЕ, ПОЛИТИЧЕСКИЕ И ФИНАНСОВЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОЙ ЦИВИЛИЗАЦИИ НА ЗЕМЛЕ И В КОСМОСЕ

Внеземные инженерные цивилизации и космическая цивилизационная панспермия 406
Юницкий А.Э.

Обеспечение общественной безопасности при строительстве и эксплуатации общепланетарного транспортного средства 426
Зарецкий О.М.

Программа «ЭкоМир» как основа и горизонт трансформации доминирующей социально-экономической модели 440
Юницкий А.Э., Петров Е.О.

Влияние космоса на человека: психологические аспекты образа жизни людей в новой среде 458
Коктыш И.А.

Подготовка кадров для биосферной цивилизации: социокультурный и кибернетический подход 466
Потеряйко А.Ю., Фоменко Е.В.

Влияние индустриализации ближнего космоса на социально-экономическое развитие экваториальных стран Южной Америки 478
Юницкий А.Э., Власовец Е.Н., Кулик О.В., Шанчук А.С.

Глобальные проблемы человечества: состояние и пути их решения 486
Юницкий А.Э., Леонова В.К.

Решение VII Глобальной конференции по индустриализации ближнего космоса 500

Глоссарий: термины и определения 506

Рецензии на сборник научных трудов VII Глобальной конференции по индустриализации ближнего космоса 512



Анатолий Юницкий

**Автор фундаментальной программы «ЭкоМир»,
главный инвестор и председатель оргкомитета Глобальной конференции
по индустриализации ближнего космоса.**

Учёный, инженер, визионер, более 50 лет занимающийся предотвращением
мировой экологической катастрофы и сохранением окружающей среды для будущих поколений;
разработал уникальный транспорт – наземный (Струнный транспорт Юницкого – ЮСТ)
и геокосмический (общепланетарное транспортное средство – ОТС),
а также другие инженерные технологии и биотехнологии, дружественные земной биосфере.

Предприниматель, создавший мощную инженерную корпорацию с офисами в Республике Беларусь,
Российской Федерации, Индонезии, Объединённых Арабских Эмиратах и Соединённых Штатах Америки.
Команда Анатолия Юницкого состоит из высококвалифицированных конструкторов, инженеров,
учёных и исследователей – более 1000 специалистов, которые достигли существенных результатов
и преуспели в строительстве, сертификации и эксплуатации инновационных
транспортно-инфраструктурных комплексов.

Автор более 300 научных статей, более 20 научных монографий, а также владелец
более 200 патентов и свидетельств на изобретения, промышленные образцы и товарные знаки
в таких отраслях, как строительство, транспорт, машиностроение, сельское хозяйство,
электронная и химическая промышленность. Свыше 50 изобретений Анатолия Юницкого
внедрены в производство во многих странах. Руководитель двух проектов
Программы Организации Объединённых Наций по населённым пунктам (ООН-ХАБИТАТ).
Член Федерации космонавтики СССР, академик Российской академии естественных наук.

**Антропогенное угнетение биосферы и истощение природных ресурсов
достигли такого уровня, что при сохранении текущих темпов роста и развития
земной индустриальной техносферы мы рискуем передать в наследство нашим внукам
безжизненную пустыню, непригодную для существования. Моя программа «ЭкоМир»
обоснована и концептуально реализована в исследовательских центрах Беларуси и ОАЭ.
Объединив усилия, мы способны переориентировать техносферу Земли
на космический вектор развития, устранив таким образом антропогенный фактор
угнетения биосферы.**

anatoli-unitsky · unitsky.engineer · ust.inc · aet.space

Приветственное слово Анатолия Юницкого,

**доктора философии транспорта,
главного инвестора,
председателя организационного комитета
VII Глобальной конференции
по индустриализации ближнего космоса**



Дорогие друзья, коллеги, партнёры!

Приветствую участников и гостей VII Глобальной конференции по индустриализации ближнего космоса. Сегодня форум впервые состоится под новым названием, выйдя за пределы международного статуса и достигнув глобального уровня. Тем самым мы подчёркиваем масштабность представленных на конференции проектов и их жизненную значимость для всего человечества.

В этом году получено рекордное количество заявок от желающих принять участие в мероприятии. На нашей площадке мы собрали ведущих экспертов, учёных, инженеров и новаторов, чтобы обсудить ключевые вопросы и перспективы освоения ближнего космоса. Доклады, которые прозвучат, направлены на поиск решений актуальных задач социального, биологического, экологического и инженерного характера. Мы уверены, что совместными усилиями сможем создать устойчивое и здоровое будущее.

Отдельно приветствую тех гостей, а их несколько тысяч, кто подключён сейчас к онлайн-трансляции, ведущейся на трёх языках: русском, английском и вьетнамском, что позволяет охватить ещё более широкую аудиторию и сделать наши обсуждения доступными для всех энтузиастов, интересующихся космосом.

Центральной темой моего пленарного доклада станет глобальная программа «ЭкоМир», которая подразумевает изменение существующего мироустройства общечеловеческими усилиями. Только вместе, сообща, можно решить глобальные проблемы современности. Как видно из названия, эта инициатива направлена на разработку и повсеместное внедрение инновационных биосферных (т. е. дружественных биосфере) инженерных технологий, призванных снизить техногенную нагрузку на нашу прекрасную Голубую планету и сохранить Землю для будущих поколений.

Программа предлагает миру новый путь развития земной человеческой цивилизации, ключевым элементом которого является общепланетарное транспортное средство (ОТС) – геокосмический комплекс, выполненный в виде самонесущего летательного аппарата, опоясывающего Землю по экватору. ОТС способно за один рейс доставить в космос и обратно до 10 млн тонн грузов и до 10 млн пассажиров.

Важно, что при этом себестоимость геокосмической логистики снижается по меньшей мере в тысячу раз по сравнению с ракетными перевозками и соблюдается биосферная экология, поскольку ОТС работает исключительно на электрической энергии.

**В далёком прошлом
пророки предупреждали людей
о предстоящих катаклизмах.
Внимавшие спасались.
Остальные погибали.
Я не пророк. Я инженер.
Все мои прогнозы
построены на расчётах
и наблюдениях за процессами,
происходящими на нашей планете,
которую мы не получили в наследство
от своих предков, а взяли в долг
у потомков.**

Именно ОТС способно помочь человечеству стать космической цивилизацией и обеспечить широкомасштабное освоение околоземного пространства, куда мы сможем перенести всю опасную для нашей планеты индустрию, загрязняющую воздух и воду, уничтожающую растительный и животный мир. Посредством ОТС можно организовать космические поселения и производства, где миллионы людей будут жить и трудиться в природно-климатических условиях, аналогичных земным субтропикам.

Таким образом, реализуя программу, человечество не только откроет доступ к новым технологическим возможностям, но и в содружестве с биосферой выйдет на путь инженерной трансформации мировой экономики.

Преобразование земной индустрии в космическую и её размещение в непосредственной близости от будущего потребителя – земного человечества – это не просто вынос промышленности за пределы планеты, в ближний космос, это и комфортное экологичное жильё для всех землян в своём родном доме – в земной биосфере, освобождённой от гнёта техносферы, и достойная работа, и органическая пища, и чистый воздух, и родниковая вода, и здоровый отдых, и нравственные развлечения.

В основу программы «ЭкоМир» положены мои научные труды как инженера-конструктора, изобретателя и визионера.



Приветственное слово Игоря Кожина,

главы Центра международного промышленного сотрудничества ЮНИДО в Российской Федерации



Здесь собраны результаты научного анализа, экспериментов, проектных и конструкторских работ созданных мною за 50 лет научной и инженерной школ.

В далёком прошлом пророки предупреждали людей о предстоящих катаклизмах. Внимавшие спасались. Остальные погибали. Я не пророк. Я инженер. Все мои прогнозы построены на расчётах и наблюдениях за процессами, происходящими на нашей планете, которую мы не получили в наследство от своих предков, а взяли в долг у потомков.

Если не одумаемся и не примем судьбоносные решения, способные спасти наш общий дом – биосферу Земли, то до точки цивилизационного невозврата останется не более двух поколений.

Возрастающий интерес к программе «ЭкоМир» доказывает, что к нам прислушивается всё больше неравнодушных к судьбе планеты людей. Как я говорил выше, проект «ЭкоМир» призван объединить регионы и континенты, народы и национальности. Хочу отметить, что с каждым годом наши проекты и идеи получают всё большую поддержку. Например, в 2024 г. мы представили свои решения на площадке БРИКС.

Биосферные технологии группы компаний Юницкого получили множество положительных откликов и вызвали значительный интерес со стороны видных государственных деятелей, представителей бизнеса, науки и СМИ. Это подтверждает важность и актуальность наших инициатив, а также их потенциал. Следовательно, мы на верном пути! Мы сможем подарить Голубой планете второе дыхание, сохранив биосферу и перезагрузив технократическую цивилизацию на новые, дружественные Живой Природе и человеку технологии, эффективность которых уже доказана на практике.

Мы демонстрируем первые экодома, собираем экологически чистые урожаи и создаём дружественный человеку транспорт. Каждый из вас может увидеть это на территории экопарка «Акварель» и соседнего ЭкоТехноПарка в г. Марьина Горка. ЭкоМир создаётся прямо здесь и сейчас!

Рад, что данный форум объединил тех, кто, несмотря на возникающие трудности и преграды, готов вместе со мной идти вперёд, продвигаясь к вершине успеха со всё возрастающим вдохновением.

VII Глобальная конференция по индустриализации ближнего космоса объявляется открытой!

От имени Центра международного промышленного сотрудничества ЮНИДО в Российской Федерации приветствую участников, организаторов и гостей VII Глобальной конференции по индустриализации ближнего космоса.

Я во второй раз присутствую на научном форуме, проводимом под руководством Анатолия Эдуардовича Юницкого, и считаю темы и вопросы, поднятые в рамках данного мероприятия, максимально актуальными и важными.

Основная цель ЮНИДО как организации в системе ООН – содействие эффективному промышленному развитию в контексте достижения Целей устойчивого развития, провозглашённых Генеральной Ассамблеей ООН. Наш Центр, являющийся непосредственным подразделением ЮНИДО в г. Москве, призван активизировать международное экономическое, технологическое, промышленное и научно-техническое сотрудничество, тем самым способствуя глобальным усилиям ООН. Приоритеты нашей организации согласно обновлённой стратегии Генерального директора ЮНИДО господина Герда Мюллера – это содействие стабильной индустриализации; переход к экологически чистой энергетике, расширение использования возобновляемых источников энергии; внедрение цифровых технологий и осуществление профессиональной подготовки; применение потенциала циклической экономики, сокращение выбросов отходов, пластика и сточных вод; искоренение голода путём инвестирования в устойчивое сельское хозяйство, новые технологии; обеспечение устойчивости к изменению климата.

Как видите, направления деятельности Центра совпадают по многим вопросам с тематикой данной конференции. В 2022 г. подписано Соглашение о сотрудничестве в рамках программы «ЭкоМир». В 2023 г. принято решение развивать сотрудничество с ООО «Астроинженерные технологии» и другими организациями группы компаний Юницкого; в настоящее время рассматривается возможность запуска совместных проектов, в том числе по вопросам борьбы с опустыниванием с помощью почвенного эликсира uTerra для преодоления проблемы мирового голода. Надеемся, что наше взаимодействие будет продолжено новыми перспективными инициативами и мероприятиями для достижения международной экономической, социальной и экологической интеграции, основанной на инженерных и технических инновациях.

Уверен, что VII Глобальная конференция по индустриализации ближнего космоса поспособствует дальнейшему укреплению сотрудничества на благо всеобщего и устойчивого промышленного развития. Желаю участникам, организаторам и гостям форума плодотворного общения, взаимовыгодного обмена опытом и профессиональных успехов!

Приветственное слово Петра Витязя,

**академика НАН Беларуси,
доктора технических наук, профессора,
заслуженного деятеля науки,
начальника управления
аэрокосмической деятельности
НАН Беларуси,
заместителя руководителя
Агентства по космическим
исследованиям НАН Беларуси**





Глубокоуважаемые Анатолий Эдуардович и Надежда Геннадьевна, участники VII Глобальной конференции по индустриализации ближнего космоса, приглашённые гости!

Примите от имени научных работников Национальной академии наук Беларуси самые искренние пожелания дальнейших успехов в освоении космического пространства в интересах человечества.

Понятно, что всё в мире имеет своё начало, всё находится в движении, изменении и имеет своё завершение. Важно понимать это и думать о будущем, о продолжении и сохранении жизни грядущих поколений. Всё, что происходит на Земле, зависит от процессов, протекающих в недрах нашей планеты, ближнем и дальнем космосе и, конечно, влияющих на число природных катаклизмов, к которым добавляется пагубная деятельность человека.

Именно поэтому вопросы, которые рассматриваются на этой конференции, несмотря на их кажущуюся фантазийность, на современном этапе не только интересны, но и полезны. Мы должны объединить усилия для создания общества людей, целеустремлённых и решающих насущные проблемы нашей цивилизации, а также для организации комфортной жизни, сохранения и защиты родной планеты.

Уважаемые участники конференции, хочу отметить, что 2024 г. для Беларуси стал особым в развитии и использовании космических технологий. В этом году исполнилось 90 лет со дня рождения первого космонавта Юрия Гагарина, открывшего человечеству путь в космос. Мы гордимся, что вместе с русским и другими народами СССР наши земляки принимали самое активное участие в научно-техническом прорыве, совершённом благодаря труду тысяч советских учёных, конструкторов, лётчиков-испытателей и космонавтов. Существенный вклад в преодоление сил земного притяжения внесли выдающиеся представители белорусской науки: Казимир Семенович, Яков Зельдович, Семён Косберг, Жорес Алфёров и др. Глубоко почитаемы у нас белорусские лётчики-космонавты – дважды Герои Советского Союза Пётр Климук и Владимир Ковалёнок, а также Герой Российской Федерации Олег Новицкий, который в 2024 г. совершил свой четвёртый полёт в качестве командира корабля 21-й экспедиции на Международную космическую станцию совместно с Мариной Василевской. Первая белорусская женщина-космонавт не только совершила кратковременный космический полёт, но и выполнила семь экспериментов, пять из которых научные и два – общественно-образовательные. За мужество и значительный личный вклад в освоение околоземного пространства Марина Василевская удостоена высшей государственной награды – звания Героя Беларуси.

В настоящее время НАН Беларуси во взаимодействии с белорусскими и российскими организациями и Госкорпорацией «Роскосмос» работает над изготовлением белорусско-российского спутника дистанционного зондирования Земли с разрешением 0,35 м. В рамках союзной программы «Комплекс-СГ» изготавливается группировка из трёх наноспутников, один из которых принадлежит НАН Беларуси и предназначен для изучения ионосферы и выполнения совместных исследований. В интересах многих министерств и ведомств успешно продолжает использоваться созданная в 2013 г. Белорусская космическая система дистанционного зондирования Земли.

В завершение своего приветственного слова выражаю благодарность организаторам конференции, руководителям и специалистам ООО «Астроинженерные технологии» за масштабную выставку перспективных разработок.

Желаю всем успехов, доброго здоровья и развития сотрудничества для дальнейшего покорения космоса на благо будущих поколений.

Вопросы, которые рассматриваются на этой конференции, несмотря на их кажущуюся фантазийность, на современном этапе не только интересны, но и полезны. Мы должны объединить усилия для создания общества людей, целеустремлённых и решающих насущные проблемы нашей цивилизации, а также для организации комфортной жизни, сохранения и защиты родной планеты.

Приветственное слово Валерия Клюшникова,

академика Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, доктора технических наук, главного научного сотрудника АО «ЦНИИмаш»



Уважаемые коллеги и друзья!

Я глубоко убеждён, что развитие промышленной инфраструктуры в околоземном пространстве должно стать основной парадигмой его освоения и использования на длительную перспективу.

Мы часто цитируем слова К.Э. Циолковского: «Планета есть колыбель разума, но нельзя вечно жить в колыбели». Однако на вопрос «Зачем нам космос?», как мне кажется, никто не дал внятного ответа. Время восторженных романтиков ушло вместе с полётами первого спутника и первого человека. Наступило время прагматиков. Индустриализация околоземного пространства как нельзя лучше соответствует велениям времени и делает более осмысленным стремление человечества в космос. Только постепенный перенос энергоёмких и грязных производств за пределы планеты, разработка внеземных ресурсов позволят предотвратить разрушение её биосферы, обеспечить устойчивое поступательное развитие нашей цивилизации, преобразовать Землю в цветущий сад.

Пути и темпы индустриализации ближнего космоса могут быть различными, но рано или поздно встанет задача радикального преодоления «проклятия гравитации» и обеспечения свободного грузопотока в сотни и тысячи тонн в околоземное пространство и обратно. Можно с уверенностью сказать, что из всех известных способов безракетного доступа в космос предлагаемое Анатолием Эдуардовичем Юницким общепланетарное транспортное средство, пожалуй, наиболее проработано.

Геоинженерный проект такого масштаба потребует объединения усилий многих стран и народов, привлечения специалистов в самых различных областях. Однако мысль об индустриализации околоземного пространства должна прежде овладеть массами. Именно в этом я вижу первоочередную задачу данной конференции.

Желаю участникам форума и лично Анатолию Эдуардовичу Юницкому непоколебимого упорства в достижении поставленных целей, а также смелых и оригинальных идей, конструктивного отношения и помощи со стороны органов государственного управления, предприятий промышленности, учреждений науки и образования!

Приветственное слово Михаила Свердлова,

директора Фонда поддержки деловых коммуникаций БРИКС+



Дорогие коллеги, Анатолий Эдуардович, огромное спасибо за приглашение на столь значимую конференцию!

Уверен, что начиная с этого года члены БРИКС+ вместе с ООО «Астроинженерные технологии» приступят к реализации идей, которые, безусловно, важны для человечества. Думать о будущем грядущих поколений становится актуальным не только в нашей стране, но и во всём мире. Без подобных размышлений невозможно двигаться вперёд. Мы со своей стороны сделаем всё для того, чтобы ваши идеи достигли конечных адресатов, и тогда то, о чём будет говориться на этой конференции, через очень непродолжительное, я надеюсь, время воплотится в реальность.

В 2024 г. в рамках VI международного муниципального форума стран БРИКС+ в г. Москве были презентованы проекты Анатолия Эдуардовича Юницкого. В данном крупнейшем мероприятии приняли участие более 6000 человек, из которых 600 – главы крупных муниципалитетов. То есть это как раз те люди, которые станут, на мой взгляд, основными активными приверженцами идеи индустриализации ближнего космоса. Именно их содействие поможет добиться выполнения поставленных задач и достижения целей, которые стоят перед человечеством.

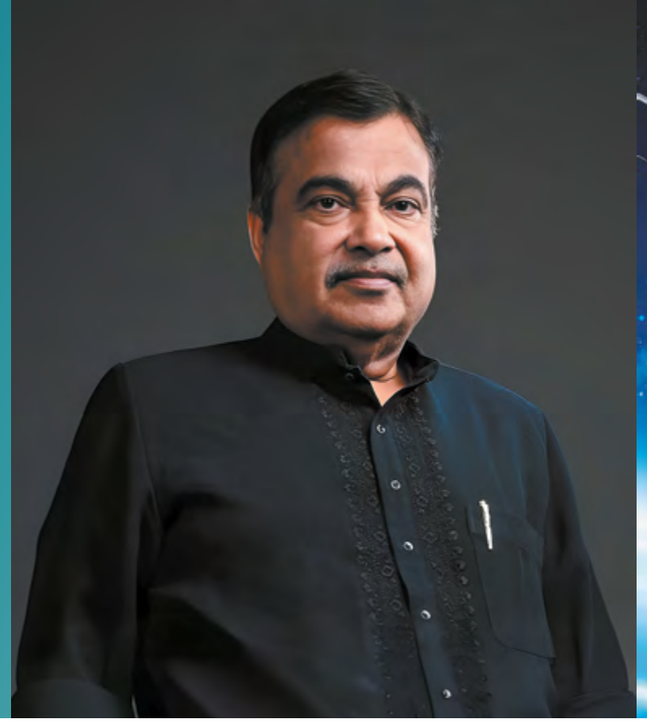
Кроме того, планируется, что в рамках VII Глобальной конференции по индустриализации ближнего космоса мы с ООО «Астроинженерные технологии» подпишем декларацию о дальнейшем сотрудничестве.

Желаю всем участникам конференции плодотворной работы! Мечты должны сбываться!

Думать о будущем грядущих поколений становится всё более актуальным не только в нашей стране, но и во всём мире. Без подобных размышлений невозможно двигаться вперёд.

Приветственное слово Нитина Гадкари,

**доктора филологических наук,
магистра коммерции,
министра автомобильного транспорта
и шоссейных дорог Индии**





Здравствуйте уважаемые гости, дорогие друзья, дамы и господа!

Я рад вместе с вами участвовать в VII Глобальной конференции по индустриализации ближнего космоса, собравшей выдающиеся умы, экспертов, учёных, промышленников, которые поделятся своим техническим опытом и предложат решения для экологичного и безопасного освоения околоземного пространства.

Данное мероприятие станет платформой для обсуждения новых идей, вызовов и возможностей в этой сфере. В международной космической гонке безракетное освоение околоземного пространства может выступить альтернативным способом экономической экспансии человечества в космос.

В нашей стране космическая программа осуществляется под руководством Индийской организации космических исследований (ISRO), которая занимается научными и инженерными разработками и технологиями, направленными на то, чтобы извлечь для Индии и всего человечества максимальную пользу из освоения ближнего космоса. Запуск спутника «Ариабхата» в 1975 г., реализация марсианской орбитальной миссии «Мангалъян», начатая в 2014 г., ряд успешных полётов на Луну «Чандраян» – ISRO постоянно расширяет границы своих возможностей в освоении космоса.

Разработка экологичных технологий является основным приоритетом данной конференции. Следует отметить, что, когда несколько лет назад я встречался с господином Юницким, мне понравилась его идея сохранения окружающей среды для будущих поколений, которая может быть воплощена при реализации эффективных и долгосрочных решений. Помню, как посетил струнную дорогу в Шардже (ОАЭ), которую построила компания uSky Transport, и как мне понравился тестовый заезд. Я видел, насколько это безопасно. Уверен, разработанная концепция способна полностью изменить систему грузовых и пассажирских перевозок.

Как министр автомобильного транспорта и шоссейных дорог я уделяю особое внимание развитию надёжной транспортной инфраструктуры на основании различных инициатив, включая применение пластиковых и коммунальных отходов, стального шлака при прокладке дорог. Мы внедрили использование аварийных заграждений из бамбука, переработку дорожного покрытия, применение в строительстве модифицированного полимерного битума и стекловолоконной армированной стали. Индия планирует достичь нулевого баланса выбросов к 2070 г.

Кроме того, одна из наших задач заключается в трансформации энергетического ландшафта страны, в результате чего фермеры станут производителями не только сельхозкультур, но и энергии. Мы выступаем за такие её альтернативные источники, как этанол, метанол, сжиженный природный газ, электричество, водород и биодизель, для заправки строительной техники с целью сохранения окружающей среды. Уже используется экологически безопасное авиационное топливо из кормовых культур, включая сахарные и крахмальные. В будущем все растения могут стать сырьём для него.

На данном форуме прошу рассмотреть возможность применения альтернативных видов биотоплива при реализации космической программы. Это длинный путь, который в конечном итоге приведёт к экологической безопасности и стабильности.

Выражаю благодарность господину Юницкому и компании «Астроинженерные технологии» за организацию конференции. Анатолий Юницкий – это первопроходец в безракетном освоении космоса, он тот, кто изменил правила игры в транспортной отрасли.

В заключение желаю всем участникам мероприятия успехов, новых открытий и достижений.

Работайте вместе, с пониманием и решительностью! Стройте будущее, где люди и природа будут гармонично сосуществовать!

В международной космической гонке безракетное освоение околоземного пространства может выступить альтернативным способом экономической экспансии человечества в космос.

Приветственное слово Юрия Плескачевского,

члена-корреспондента НАН Беларуси, доктора технических наук, профессора, заслуженного деятеля науки Республики Беларусь





Разрешите начать приветственное слово с обращения к Анатолию Эдуардовичу Юницкому – организатору данного форума. Приветствую Надежду Геннадьевну – друга, супругу и, как я знаю, человека, имеющего важнейшее значение в жизни Анатолия Эдуардовича и вдохновляющего его на реализацию общецивилизационных идей! Приветствую всех присутствующих на конференции и желаю, чтобы оправдались ваши ожидания, связанные с этим мероприятием, а поставленные цели были достигнуты.

При всей глобальности конференции и уникальности личности Анатолия Эдуардовича – инженера, изобретателя, учёного, мыслителя, философа, фигуры поистине планетарного масштаба – хочу отметить три важных для меня личных аспекта, которые придают особое значение этому событию.

Первый из них связан с нашей совместной с Анатолием Эдуардовичем работой в далёком 1988 г. Я тогда занимал должность заместителя директора по науке и курировал патентно-лицензионную деятельность, а он возглавлял патентно-лицензионный отдел. Наши пути в последующие годы где-то расходились, но мы всегда поддерживали контакты. На всех должностях – будь то директор института, вице-президент академии наук нашей страны, председатель Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь – я неизменно, в меру сил и возможностей, поддерживал Анатолия Эдуардовича и его великие идеи.

Второй личный аспект: наверняка среди присутствующих в этом зале только два человека принимали участие во всех семи конференциях – это Анатолий Эдуардович и ваш покорный слуга. Я имел честь участвовать в первой конференции 1988 г., которая состоялась в г. Гомеле. Уже тогда мероприятие своими прорывными идеями привлекло внимание общественности, специалистов различного профиля, даже присутствовали космонавты.

Третий аспект: мною рецензировались все сборники, опубликованные по итогам конференций, т. е. досконально изучена каждая научная работа, представленная Анатолием Юницким и его учениками.

Это значит, что я присоединяюсь ко всему сказанному здесь. С инженерной (физической) точки зрения всё реализуемо. С материаловедческой позиции вопросы, касающиеся создания общепланетарного транспортного средства, также решаемы. Вместе с тем хочу отметить две проблемы, с которыми следует справиться на пути к осуществлению задуманного.

Первое, что нужно преодолеть, – это политическая воля руководителей. Если две конференции назад света в конце тоннеля не было видно, то теперь я понимаю, что спичка в конце тоннеля горит. На сегодняшнем мероприятии присутствуют представители ЮНИДО, фонда «Сколково», а также ответственные работники БРИКС – это те организации, с которыми мыслящие люди связывают своё будущее и будущее человечества. Недавно стало известно, что к пяти базовым странам – Бразилия, Россия, Индия, Китай и ЮАР – хотят присоединиться ещё 34 государства, в том числе Беларусь. Это говорит о том, что такие организации и глобальные проекты имеют общечеловеческое значение. Следовательно, перспектива начинает просматриваться. Хотя, конечно, проблем и вопросов остаётся много.

Наша цивилизация подобна неуправляемо мчащемуся «Титанику», команда которого в это время дерётся, не осознавая, что при таком движении неизбежно где-то когда-то произойдёт столкновение. А такие организации, как БРИКС, могут общечеловеческую команду объединить и повернуть этот корабль, который называется «Человеческая цивилизация», в нужное направление.

Вторая важнейшая проблема, которую необходимо решить, – это гарантия безопасности. Транспорт – средство повышенной опасности с точки зрения юрисдикции. Чем больше скорости, чем выше мы летаем, чем глубже под воду уходим, чем больше пассажиров (речь идёт о миллионах пассажиров), тем огромнее риск. Надо продумать, как обезопасить технику и людей на каждом этапе освоения космического пространства. Прежде всего нужно организовать противометеоритную защиту. Требуется создание глобальных станций, которые отслеживали бы приближающиеся к нам космические объекты, в том числе движущиеся со стороны Солнца, т. е. плохо видимые. Эту проблему обязательно следует устранить, потому что она во многом предопределяет будущее реализации данного глобального проекта.

В заключение хочу поделиться ещё одним наблюдением. На конференции обсуждаются разные направления деятельности: от струнного транспорта до экологических технологий. Это то, что сегодня востребовано и создаёт имидж ваших компаний. Это тот фундамент, который обеспечит продвижение такого глобального проекта, как общепланетарное транспортное средство.

Успехов всем нам, здоровья и удачи. Особые поздравления Анатолию Эдуардовичу, который в 2024 г. отметил 75-летний юбилей. Первые 75 лет тяжело живутся, но следующие будут легче!

Желаем Вам долгого и плодотворного творчества, а мы всегда будем рядом!

Приветственное слово Юрия Хаханова,

кандидата экономических наук, директора по акселерации, руководителя направления «Городские технологии» фонда «Сколково»



Анатолий Эдуардович, коллеги, рад всех приветствовать!

Обычно космические инициативы рассматривают только для реализации в космосе, а земные – на Земле. Впервые их объединяют предложения группы компаний Юницкого, презентованные на конференции. Индустриализация космоса и линейные города будущего консолидированы А.Э. Юницким в один глобальный проект.

Выбранная стратегия развития и продвижения данной идеи выглядит перспективной, поскольку индустриализация космоса зависит в том числе и от того, как мы будем жить на нашей Голубой планете. Следовательно, представленные земные инициативы – экотехнопарки, экогорода и в целом концепция экологического равновесия – прогрессивные направления.

В ходе своей деятельности фонд «Сколково» поддерживает более 100 экологических инноваций, мы также приветствуем другие смелые проекты и готовы содействовать их осуществлению.

Выбранная стратегия развития и продвижения данной идеи выглядит перспективной, поскольку индустриализация космоса зависит в том числе и от того, как мы будем жить на нашей Голубой планете.

Приветственное слово Арсения Митько,

члена-корреспондента Российской академии естественных наук, кандидата технических наук, доцента, президента Арктической общественной академии наук



Уважаемые коллеги, друзья, участники конференции!

От имени Арктической общественной академии наук и от себя лично приветствую вас на этом важнейшем международном форуме, посвящённом индустриализации ближнего космоса. Для меня большая честь находиться здесь среди специалистов и единомышленников, объединённых стремлением расширить границы человеческих возможностей и воплотить самые амбициозные идеи.

На данной конференции я присутствую не первый раз и всё больше восхищаюсь масштабом её организации и значимостью поднимаемых тем. Сегодня мы не просто исследуем новые горизонты, а создаём будущее, где освоение околоземного пространства – основа для устойчивого развития нашего мира. Сфера, о которой ещё недавно говорили как о чём-то фантастическом, – уже реальность. Космос – это новый рубеж, и перед нами стоят непростые задачи. Однако я уверен, что благодаря совместной работе мы сможем преодолеть эти вызовы.

Спасибо организаторам за впечатляющее мероприятие, а каждому участнику конференции – за вклад в создание будущего. Пусть наши общие усилия помогут человечеству сделать шаг вперёд на пути освоения ближнего космоса. Удачи, успеха и процветания всем нам!

Сегодня мы не просто исследуем новые горизонты, а создаём будущее, где освоение околоземного пространства – основа для устойчивого развития нашего мира.

УДК 008.2+504.06+629.78

Программа «ЭкоМир»

А.Э. Юницкий[1,2]
доктор философии транспорта

[1] ООО «Астроинженерные технологии», г. Минск, Беларусь

[2] ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Беларусь

Человек выбрал технологический путь цивилизационного развития около 2 млн лет назад, когда создал свои первые инженерные технологии, в том числе зажёг первый костёр и стал готовить на нём пищу. Первобытные люди в 20 лет умирали от рака лёгких, пока не догадались вынести огонь и другие простейшие индустриальные технологии из пещеры, своего дома, в окружающую среду – в большой биосферный дом Земля.

Сегодня мы в полной мере ощущаем результат последующего технологического развития и создания глобальной индустрии (техносферы) – биосфера нашей планеты заполнена технологическим смогом, угрожающим не только человечеству, но и всей жизни на Земле. Однако сейчас мы как никогда далеки от решения глобальных экологических и социально-экономических проблем. Реализуемая ООН концепция устойчивого развития не привела к кардинальному переключению мировой экономики на биосферный путь цивилизационного развития. Более того, антропогенное угнетение биосферы продолжает усугубляться.

Выход один. Требуется объединить усилия для того, чтобы разделить в пространстве биосферу и техносферу, предоставив последней экологическую нишу вне биосферы. Такой цивилизационный вектор прогрессивного технологического развития обеспечит сохранение и развитие жизни на нашей планете по тем законам и направлениям, которые были сформированы в течение миллиардов лет эволюции, а также создаст условия для гармоничного взаимодействия общности людей – земной человеческой цивилизации – с биосферой.

Биосферу создал не человек, а совокупность миллиардов видов живых организмов, где *Homo sapiens* как биологический объект никогда не был доминирующим видом. Именно поэтому он не должен доминировать и в будущем, иначе может сломать исторически сложившийся планетарный биосферный генетический код, из поколения в поколение передаваемый триллионы раз для простейших одноклеточных и миллиарды раз – для многоклеточных живых существ, каждый вид которых насчитывает миллионы, миллиарды и даже триллионы триллионов особей.

Безопасной экологической ниши для техносферы, в которой она была бы отделена от биосферы, на Земле нет, но она есть в ближнем космосе, на высоте 300 км и более, где для большинства технологических процессов, созданных человеком разумным, имеются идеальные условия: невесомость, глубокий вакуум, сверхвысокие и криогенные температуры, неограниченные сырьевые, энергетические и пространственные ресурсы и др.

Ключевые слова:
индустриализация космоса, космические промышленные отходы, космический Ковчег, космическое индустриальное ожерелье «Орбита» (КИО «Орбита»), новая урбанистика, общепланетарное транспортное средство (ОТС), панспермия, цивилизация, экваториальный линейный город (ЭЛГ), ЭкоКосмоДом (ЭКД).

При этом оптимальным местом для размещения неживой (мёртвой) техносферы должен быть не космос вообще, где, возможно, существует внеземная жизнь со своей специфической экологией, а мёртвый (неживой) ближний космос, где жизни точно нет – ни земного, ни внеземного происхождения.

Таким образом, мы приходим к выводу о необходимости индустриализации ближнего космоса, сущность которой заключена в главной идее программы «ЭкоМир»: «Земля – для жизни. Космос – для индустрии». Однако подобное станет возможным только при наличии энергоэффективного, экологически чистого и безопасного геокосмического транспортно-инфраструктурного комплекса, который будет способен обеспечить индустриальные масштабы грузопассажирских перевозок в ближний космос и обратно (а это миллионы тонн грузов и миллионы пассажиров в год) при снижении себестоимости перевозок по сравнению с ракетами-носителями не менее чем в 1000 раз.

Ракетно-космическая отрасль не отвечает ни одному из указанных требований. Общий энергетический КПД ракеты-носителя (с учётом всех предполётных и полётных затрат и потерь энергии), работающей на твёрдом или жидком топливе, составляет около 1 %. Геокосмические перевозки посредством ракет всегда останутся чрезвычайно опасными с точки зрения экологии, а их стоимость будет превышать 1 млн USD за каждую тонну доставленного в космос (или обратно) груза. И, что самое главное, в колоссальных объёмах – миллионы тонн за один пуск тяжёлой ракеты – уничтожается озон, защищающий нашу планету от жёсткого космического излучения (ультрафиолета).

Неэффективными являются и другие предлагаемые инженерами инновационные решения, например технология космического лифта на растянутом канате, длина которого составляет более 50 000 км, с заявленной производительностью до 10 000 тонн грузов в год (менее 1 г космической продукции на жителя планеты). При этом отсутствуют необходимые для данной технологии сверхпрочные и сверхлёгкие конструкционные материалы, как и возможность доставки миллионов тонн конструктивных элементов лифта на орбиту высотой 35 786 км (геостационарная орбита), поскольку такой лифт может монтироваться только из космоса – в сторону Земли и в противоположную сторону (для крепления противовеса массой более 10 млн тонн).

Оптимальная для индустриализации космоса геокосмическая транспортная система должна отвечать фундаментальным законам природы. К их числу относятся четыре физических закона сохранения: энергии, импульса, момента импульса и движения центра масс системы. Вместе с тем конструкция и принцип действия геокосмической транспортной системы должны встраиваться в окружающую среду с минимальным влиянием на биосферу, гармонично вписываться в природный ландшафт и не вступать в противоречия с локальными и глобальными биосферными процессами. Только одно известное инженерное решение отвечает заданным требованиям и соответствует целому ряду дополнительных геокосмических транспортно-логистических задач, обусловленных индустриализацией космоса, – это общепланетарное транспортное средство (ОТС), предложенное в 1982 г. мировому сообществу советским инженером Анатолием Эдуардовичем Юницким.

ОТС – работающий на электрической энергии геокосмический транспортно-инфраструктурный комплекс многоразового использования для безракетного индустриального освоения ближнего космоса, выполненный в виде летательного аппарата, опоясывающего Землю в экваториальной плоскости. ОТС оснащено двумя продольными ленточными маховиками, размещёнными внутри корпуса в вакуумных каналах и удерживаемыми на магнитных подвесах. Маховики, однажды разогнанные линейными электродвигателями, могут годами вращаться внутри вакуумных каналов и, соответственно, вокруг планеты, так как ни магнитная подушка на постоянных магнитах, ни вакуум не создадут значимого сопротивления при движении с космическими скоростями. Затраты энергии на рейс с полной загрузкой в обе стороны будут обусловлены лишь внутренними потерями энергии, оцениваемыми не выше 3 % (теоретически возможно уменьшение потерь до 0,5–1 %). КПД ОТС при использовании эффекта сверхпроводимости может быть близок к теоретически возможному пределу – 100 %.

При подъёме с Земли в космос разогнанные маховики будут передавать свои кинетические энергии и импульсы корпусу ОТС и закреплённому на нём грузу, а при спуске на Землю получат обратно энергию от корпуса ОТС и закреплённого на нём груза. После создания космической индустрии, когда обратный грузопоток из космоса превысит прямой грузопоток с Земли, ОТС начнёт генерировать электроэнергию, как гигантская экваториальная электростанция мощностью более 100 млн кВт: избыточный груз, доставляемый на Землю, подобно падающей воде в гидроэлектростанции, отдаст свою кинетическую и потенциальную энергию ленточным маховикам, а те – энергосистеме Земли.

По энергоэффективности доставка каждой тонны космического груза на поверхность планеты с помощью ОТС будет примерно равна энергии, заключённой в тонне нефти. Поэтому доступное космическое минеральное сырьё, например находящееся в главном поясе астероидов, общей массой более 10^{18} тонн (миллиард миллиардов тонн) можно рассматривать с позиций Земли как нефтяное месторождение такой же массы – этой энергии будет достаточно для земной цивилизации на миллионы лет вперёд.

Будущая космотехногенная земная цивилизация, справившаяся с глобальными экологическими, ресурсными и социально-политическими вызовами на родной планете, будет опираться на три составляющие, призванные обеспечить весь необходимый комплекс условий для устойчивого развития земного человечества, ставшего космическим и сохранившего свой технологический (индустриальный) цивилизационный фундамент:

1) БиоМир – биосфера Земли, свободная от антропогенного воздействия, восстановленная и естественно эволюционирующая;

2) ТехноМир – преобразованная на Земле и вновь созданная в космосе энерго- и ресурсоэффективная техносфера, не оказывающая антропогенного угнетающего воздействия на биосферу Земли;

3) ХомоМир – усовершенствованное мировое общественно-политическое устройство, имеющее как земную, так и космическую (внеземную) составляющие.

Важнейшим элементом обновлённой техносферы Земли станет экваториальный линейный город (ЭЛГ) – земной компонент геокосмического транспортно-коммуникационного комплекса, на территории которого размещена взлётно-посадочная эстакада ОТС со всей инфраструктурой, необходимой для осуществления полётов ОТС и обслуживания глобальных геокосмических грузопассажирских потоков. ЭЛГ представляет собой гармонично вписанные в природную среду наземных и океанических участков планеты поселения кластерного типа, размещённые на полосе вдоль экватора и соединённые между собой скоростными (до 150 км/ч), высокоскоростными (до 360 км/ч), ультраскоростными (до 600 км/ч) и гиперскоростными (более 600 км/ч) трассами Струнного транспорта Юницкого (ЮСТ).

Первый запуск ОТС в космос позволит начать создание космического индустриального ожерелья «Орбита» (КИО «Орбита») – транспортно-инфраструктурного и индустриально-жилого комплекса, являющегося функциональным аналогом ЭЛГ, размещённым в ближнем космосе на экваториальной круговой орбите. КИО «Орбита» будет также служить плацдармом для защиты планеты от космических угроз (в том числе метеоритных) и платформой для будущей экспансии в космос земной цивилизации.

Переход к промышленному освоению космоса не означает полного отказа от индустриального развития на Земле, он подразумевает эволюцию существующей земной индустрии до более эффективных, экологически чистых и дружественных земной биосфере технологий, которые будут демонстрировать лучшие показатели качества:

1) производство натуральных (органических) продуктов питания – доиндустриальных аналогов, когда сельское хозяйство не знало химических удобрений, ядохимикатов и ГМО;

2) производство безотходной «зелёной» электроэнергии без ущерба для биосферы планеты и мировой экономики;

3) строительство не отнимающих землю экологичных жилых, промышленных и иных зданий и сооружений;

4) создание экоориентированной коммуникационной инфраструктуры (транспортной, энергетической и информационной), размещённой над поверхностью земли – на «втором уровне».

Условия для этих преобразований обеспечат технологические платформы, призванные сохранить экологический баланс на планете:

- uGreen – доиндустриальное органическое земледелие;
- uEnergy – «зелёная» энергетика – преимущественно реликтовая солнечная биоэнергетика (РСБЭ);
- Струнные технологии Юницкого (ЮСТ);
- EcoHouse – экоориентированное строительство на Земле жилых, производственных и иных зданий и сооружений.

Программа «ЭкоМир» подразумевает изменение существующего мироустройства общечеловеческими усилиями. Только вместе, сообща, мы можем изменить характер развития человечества. Наша техногенная цивилизация, все успехи в развитии которой основаны на инженерных технологиях, ни в коем случае не должна отказываться от своего технологического фундамента – индустрии. Деиндустриализация губительна для той цивилизации, которую мы знаем и частью которой мы все – всё человечество – являемся.

Этот проект предполагает консолидацию и цивилизационный патриотизм в общепланетарном масштабе. Традиционные инвестиционные, технологические и социальные риски в данном случае теряют свою значимость по сравнению с основным риском – потерей времени, необходимого для понимания неизбежности космического вектора индустриального развития как единственно правильного, реализуемого в текущих условиях и на данном этапе развития нашей земной техногенной цивилизации, её технологий и науки.

Каждый день промедления приближает нас к неотвратимой глобальной экологической (технобиосферной) катастрофе: не более двух поколений отделяют нас от точки цивилизационного невозврата. Однако у человечества ещё есть выбор: либо продолжать тратить десятилетия на горячие и холодные войны, раздувание финансовых пузырей и создание общемировых кризисов, развитие квазикультуры безудержного потребления и бездуховности, ведущих в цифровой концлагерь, или уже сегодня выбрать альтернативный путь строительства нового цивилизационного будущего и сохранения нашего общего дома – биосферы планеты Земля.

Автор программы «ЭкоМир» инженер Анатолий Юницкий предлагает обоснованные и экономически выгодные инженерно-технические решения, призванные не только спасти биосферу и человечество от деградации, угасания и гибели, но и обеспечить стремительный экономический рост и индустриальный прогресс земной цивилизации, возможно, единственно разумной в нашей бескрайней Вселенной. Мы объективно не можем отказаться от технологического пути развития, иначе превратимся в чисто биологическую цивилизацию – в муравейник, рой пчёл или стаю дельфинов, у которых нет ни инженерных технологий, ни порождённых ими экономики, науки, искусства, культуры, философии и других социальных проявлений человеческой популяции, опять же обусловленных именно технологическим (читай – индустриальным) вектором развития человечества.

Организационный план реализации программы «ЭкоМир» предполагает три этапа.

1. Подготовительный этап.
Срок реализации: 20–25 лет (с 2025 по 2050 г.).
Цели и задачи: проведение всего комплекса научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ (НИОКТР), базисное строительство ЭЛГ (включая экваториальную взлётно-посадочную эстакаду), изготовление грузопассажирского ОТС, организационная подготовка и логистическое обеспечение геокосмических полётов ОТС.

2. Базисная индустриализация космоса.
Срок реализации: 10–15 лет (с 2050 по 2065 г.).
Цели и задачи: создание и стремительное наращивание мощностей базисных отраслей космической индустрии, что позволит начать конкурентное вытеснение и плавное, отрасль за отраслью, переустройство существующей экологически грязной части техносферы Земли. Параллельно планируется проведение монтажа транспортно-инфраструктурной составляющей КИО «Орбита», строительство первых жилых и промышленных орбитальных кластеров с применением материалов преимущественно земного происхождения, а также земных индустриальных технологий. Далее предусмотрена массовая индустриальная застройка экваториальных орбит с использованием уже космических материалов и технологий.

3. Широкомасштабная индустриализация космоса.
Бессрочная, начиная с 2065 г.
Цели и задачи: расширение линейки качественных потребительских и промышленных космических товаров и услуг, формирование конкурентного геокосмического рынка.

Необходимо, чтобы широкая мировая общественность, политические, научные и бизнес-элиты глубоко осознали неизбежность космического вектора индустриального развития всей нашей технократической цивилизации, а не отдельно взятой страны или группы стран. Только после этого возможно учреждение международного консорциума с достаточным участием государств экваториального пояса планеты и как можно большего числа стран с высоким экономическим и научно-техническим потенциалом. Новый космоиндустриальный технологический уклад с новой экономической парадигмой неисчерпаемых космических ресурсов и возможностей, базирующийся на объединении общечеловеческих усилий по созданию прогрессивной геокосмической цивилизационной модели, приведёт и к новому сплочённому общественно-политическому устройству земного мира.

UDC 008.2+504.06+629.78

EcoSpace Program

A. Unitsky[1, 2]
Dr. of Philosophy
in Information Technologies
(Transport)

[1] Astroengineering Technologies LLC,
Minsk, Belarus

[2] Unitsky String Technologies Inc.,
Minsk, Belarus

Humans chose the technological path of civilizational development about 2 mln years ago when they created the first engineering technologies, lit the first fire and started cooking food over an open flame. Primitive people were dying of lung cancer at the age of 20, until they guessed to take fire and other simple industrial technologies out of the cave, their home, into the environment – the big biosphere house Earth.

Today we fully feel the result of the subsequent technological development and the creation of a global industry (technosphere) – the biosphere of our planet is filled with technological smog threatening not only humankind but all life on Earth. However, we are now farther than ever from solving global ecological and socioeconomic problems. The United Nations' concept of sustainable development has not led to a fundamental shift in the world economy towards a biospheric path of civilizational development. Moreover, anthropogenic pressure on the biosphere continues to worsen.

There is only one solution. Joint efforts are required to separate the biosphere and the technosphere in space and to give the latter an ecological niche outside of the biosphere. Such a civilizational vector of progressive technological development will ensure the preservation and development of life on our planet according to the laws and directions formed during billions of years of evolution. It will also create conditions for the harmonious interaction of the human community – human civilization on Earth – with the biosphere.

The biosphere was not created by humans, but by a set of billions of species of living organisms, in which *Homo sapiens* as a biological object has never been the dominant species. Therefore, it should not dominate in the future, otherwise it can break the historically established planetary biosphere genetic code that has been transmitted from generation to generation trillions of times for the simplest unicellular organisms and billions of times for multicellular organisms, each species of which consists of millions, billions and even trillions of trillions of individuals.

There is no safe ecological niche for the technosphere on Earth, where it would be separated from the biosphere, but there is one in near space, at an altitude of 300 km and more, where there are ideal conditions for most technological processes created by *Homo sapiens*: weightlessness, deep vacuum, ultrahigh and cryogenic temperatures, unlimited raw materials, energy and space resources, etc. At the same time, the optimal place to deploy a lifeless technosphere should not be the outer space in general, where there may be extraterrestrial life with its specific ecology, but the dead (non-living) near space, where life – whether of terrestrial or extraterrestrial origin – does not exist.

Keywords:
civilization, EcoCosmoHouse (ECH), Equatorial Linear City (ELC), General Planetary Vehicle (GPV), Industrial Space Necklace "Orbit" (ISN "Orbit"), new urbanism, panspermia, space Ark, space industrial waste, space industrialization.

Thus, we conclude that near space industrialization is necessary, as exemplified by the central concept of the EcoSpace program "Earth – for Life. Space – for Industry". However, this will only be possible with the presence of an energy-efficient, environmentally friendly and safe geocosmic transport and infrastructure complex capable of facilitating industrial-scale cargo and passenger transport to and from near space (amounting to millions of tons of cargo and millions of passengers per year) while reducing transportation costs compared to launch vehicles by at least 1,000 times.

The rocket and space industry do not meet any of these requirements. The overall energy efficiency factor of a launch vehicle (considering all preflight and flight costs and energy losses) powered by solid or liquid fuel is about 1 %. Geocosmic transportation by rockets will always remain extremely environmentally hazardous, and its cost will exceed 1 mln USD for each ton of cargo delivered into space (or back). And, most importantly, the ozone that protects our planet from harsh cosmic radiation (ultraviolet) is eliminated in colossal volumes – millions of tons per one launch of a heavy rocket.

Other innovative solutions proposed by engineers are also inefficient, for example, the technology of a space elevator on a stretched steel cable, with a length of more than 50,000 km and a declared capacity of up to 10,000 tons of cargo per year (less than 1 g per inhabitant of the planet). At the same time, the necessary super strong and ultralightweight structural materials for this technology are lacking, as well as the capability to deliver millions of tons of structural components for the elevator to the orbit with the height of 35,786 km (geostationary orbit), since such a lift can only be assembled from space – toward Earth and in the opposite direction (to secure a counterweight with a mass of more than 10 mln tons).

The geocosmic transport system optimal for the industrialization of space must meet the fundamental laws of nature. These include four physical conservation laws: energy, impulse, angular momentum and motion of the system's center of mass. At the same time, the design and principle of the cosmic transport system operation should be integrated into the environment with a minimal impact on the biosphere, harmoniously fit into the natural landscape and avoid interfering with local and global biosphere processes. Only one engineering solution meets the specified requirements and a number of additional geocosmic transport and logistics assignments subject to the space industrialization – this is the General Planetary Vehicle (GPV) introduced to the world community in 1982 by a Soviet engineer Anatoli Unitsky.

The GPV is a reusable geocosmic transport and infrastructure complex powered by electric energy for non-rocket industrial exploration of near space, made in the form of an aircraft encircling Earth in the equatorial plane. The GPV is equipped with two longitudinal belt flywheels set inside the body in vacuum channels and held on magnetic suspensions. Once accelerated by linear motors, the flywheels can rotate for years inside the vacuum channels and, consequently, around the planet, since neither the magnetic cushion on permanent magnets nor the vacuum will create significant resistance when traveling at cosmic velocities. Energy costs for a fully loaded round trip will be only due to internal energy losses estimated at no more than 3 % (theoretically it is possible to reduce them to 0.5–1 %). The GPV efficiency factor using superconductivity effect can be close to the theoretically possible limit of 100 %.

The accelerated flywheels will transfer their kinetic energy and impulse to the GPV body and its cargo as they ascend from Earth into space, and will receive energy back from the spacecraft body and its cargo as they descend to Earth. Once the space industry is established, when the return cargo flow from space exceeds the direct cargo flow from Earth, the GPV will begin to generate electricity, like a giant equatorial power plant with a capacity of more than 100 mln kW: the excess cargo delivered to Earth, like falling water in a hydroelectric plant, will give its kinetic and potential energy to the belt flywheels and those to the Earth's power system.

In terms of energy efficiency, the delivery of each tone of space cargo to the Earth's surface by the GPV would be roughly equivalent to the energy contained in one tone of oil. Therefore, available space minerals, such as those found in the main asteroid belt, with a total mass of more than 10^{18} tons (billions of billion tons), can be considered from Earth's perspective as an oil field of the same mass – this energy will be sufficient to power Earth's civilization for millions of years to come.

The future cosmotechnogenic terrestrial civilization, coping with global environmental, resource and sociopolitical challenges on the home planet will be based on three components designed to provide the whole necessary set of conditions for sustainable development of terrestrial humanity which has become cosmic and retained its technological (industrial) civilizational foundation:

1) BioSpace – the restored and naturally evolving biosphere of Earth which is free from anthropogenic impact;

2) TechnoSpace – an energy- and resource-efficient technosphere transformed on Earth and newly created in space, which does not have an anthropogenic oppressive impact on the Earth's biosphere;

3) HomoSpace – an improved global sociopolitical structure, having both terrestrial and cosmic (extraterrestrial) components.

The most important element of the updated technosphere of Earth will be the Equatorial Linear City (ELC) – the terrestrial component of the geocosmic transport and communication complex, hosting the GPV takeoff and landing overpass with all the infrastructure necessary for carrying out GPV flights and servicing global geocosmic cargo and passenger flows. The ELC consists of cluster-type settlements harmoniously integrated into the natural environment of terrestrial and oceanic areas of the planet, located on a strip along the equator and interconnected by rapid (up to 150 km/h), high-speed (up to 360 km/h), ultrahigh-speed (up to 600 km/h) and hypervelocity (over 600 km/h) routes.

The first launch of the GPV into space will give start to the creation of the Industrial Space Necklace "Orbit" (ISN "Orbit") – a transport and infrastructure, industrial and residential complex acting as a functional analogue of the ELC located in near space on the equatorial circular orbit. The ISN "Orbit" will also serve as a base for planet's protection against cosmic threats (including the meteoric ones) and a platform for future expansion of the Earth's civilization into space.

The transition to industrial space exploration does not mean a complete rejection of industrial development on Earth, it implies the evolution of the existing terrestrial industry to more efficient, eco- and biosphere-friendly technologies that will demonstrate better quality features:

1) production of natural (organic) food products, i.e., preindustrial analogues that existed when agriculture did not use chemical fertilizers, pesticides and GMOs;

2) production of waste-free green electricity that causes no damage to the planet's biosphere and global economy;

3) construction of eco-friendly residential, industrial and other buildings and structures that do not consume land;

4) creation of transport, energy and informational eco-oriented infrastructure above the earth's surface at the so-called second level.

The conditions for these transformations will be provided by technological platforms designed to preserve the ecological balance on the planet:

- uGreen – preindustrial organic farming;
- uEnergy – green energy mainly represented by relict solar bioenergy (RSBE);
- Unitsky String Technologies (uST);
- EcoHouse – eco-oriented construction of residential, industrial and other buildings and structures on Earth.

The EcoSpace program implies changing the existing world order by universal human efforts. Only together, collectively, we can change the nature of human development. Our technogenic civilization, that puts all the success of own development on engineering technologies, in no way should abandon industry, its technological foundation. Deindustrialization is fatal to the civilization that we know and that we all, the whole humanity, belong to.

This project involves consolidation and civilizational patriotism on a planetary scale. In this case traditional investment, technological and social risks lose their significance when compared to the main one, namely the loss of time necessary to understand that the cosmic vector of industrial development is the only correct inevitable solution that can be implemented under the current conditions and at the present development stage of our Earth's technogenic civilization, its technologies and science.

Every day of delay brings us closer to the global ecological (technical and biospheric) catastrophe that cannot be avoided: no more than two generations separate us from the point of civilizational no return. However, humanity still has a choice: either to continue spending decades on hot and cold wars, on inflating financial bubbles and creating global crises, on developing a quasi-culture of unrestrained consumption and lack of spirituality leading to a digital concentration camp or to already choose an alternative way of building a new civilizational future and preserving our common home, namely the biosphere of planet Earth.

The author of the EcoSpace program, engineer Anatoli Unitsky, offers well-founded and economically profitable engineering and technical solutions designed not only to save the biosphere and humanity from degradation, extinction and death but also to ensure rapid economic growth and industrial progress of the Earth's civilization, which may be the only intelligent one in our vast Universe. We clearly cannot abandon the technological path of development, otherwise we will turn into a purely biological civilization that of an anthill, a swarm of bees or a flock of dolphins having neither engineering technologies nor other disciplines generated by them, such as economics, science, art, culture, philosophy and other social manifestations of the human population once again stipulated by the technological (read industrial) vector of human development.

The organizational plan for the EcoSpace program implementation involves three stages.

1. Preparatory stage.
Implementation period: 20–25 years (from 2025 to 2050).
Goals and objectives: conducting the entire complex of research, development and technological work (R&D), basic construction of the ELC (including an equatorial takeoff and landing overpass), production of the cargo and passenger GPV, organizational preparation and logistics support of the GPV's geocosmic flights.

2. Basic space industrialization.
Implementation period: 10–15 years (from 2050 to 2065).
Goals and objectives: creation and rapid capacity expanding of the basic space industrial branches, which will allow the competitive displacement and smooth, industry by industry, reconstruction of the existing environmentally dirty part of the Earth's technosphere.
In parallel, it is planned to carry out the installation of the transport and infrastructure component of the ISN "Orbit" along with construction of the first residential and industrial orbital clusters using materials of terrestrial origin mainly as well as the Earth's industrialized technologies.
Further, mass industrial development of equatorial orbits using space materials and technologies is planned.

3. Large-scale space industrialization.
Indefinite, starting from 2065.
Goals and objectives: expanding the range of high-quality consumer and industrial cosmic goods and services, setting up a competitive geocosmic market.

It is necessary that the general world community as well as political, scientific and business elites deeply realize the inevitability of the cosmic vector of industrial development which should be applied to our entire technocratic civilization, not just a single country or group of countries. Only then it will become possible to establish an international consortium with sufficient participation of the states belonging to the planet's equatorial belt and as many participating countries with high economic, scientific and technological potential as possible. A new cosmoindustrial technological order with a new economic paradigm of inexhaustible space resources and opportunities, based on the unification of universal human efforts to create a progressive geocosmic civilization model, will lead to a new united sociopolitical structure of the world.

Земля – для жизни.
Космос – для индустрии.

Введение

Мы, научная школа «ЭкоМир» и инженер Анатолий Юницкий, исходим из неоспоримого: нынешнее поколение людей получило нашу планету не в наследство от предков, а взяло её в долг у своих потомков. Этот долг мы обязаны вернуть, иначе лишим себя будущего – земная техногенная человеческая цивилизация просто исчезнет.

Мы не ждём перемен, а создаём ЭкоМир прямо сейчас. Реализация наших технологий, каждого элемента ускоряет достижение целей и укрепляет уверенность в успехе. Нами уже построены первые рельсо-струнные дороги, заселены первые экодома, собраны экологически чистые урожаи. Мы решительно идём навстречу своей цели – к преодолению демографических, продовольственных, транспортных, энергетических, инфраструктурных, экологических и иных самых важных для выживания человечества проблем. Двигаясь в таком направлении, мы открываем безграничные горизонты для всей нашей земной человеческой цивилизации.

Сегодня, когда мы оказались в шаге от цивилизационной катастрофы, когда в Европе, на Ближнем Востоке и в Африке идут войны и существует голод, государства наращивают производство вооружений, вступив друг с другом в схватку за мировое доминирование, а угрозы применения ядерного оружия звучат со стороны «мировых элит» всё чаще и со всё возрастающей серьёзностью. Сегодня, когда Третья мировая война близка как никогда, а экологические бедствия на всех континентах обрушиваются на человечество, как чума, мы, научная школа «ЭкоМир» и инженер Анатолий Юницкий, провозглашаем основные положения программы «ЭкоМир».

1. Существующие темпы и направленность развития, а также современные индустриальные технологии привели человеческую инженерную цивилизацию в состояние системного социально-экологического кризиса. Этот факт является общепризнанным.

2. Системный кризис цивилизации связан с её техногенным характером и стремлением к постоянному наращиванию объёмов производства и потребления при ограниченности пространственных, энергетических и сырьевых ресурсов Земли, а также с изначально существующим антагонизмом между созданной человеком техносферой и возникшей естественным образом биосферой.

3. Попытка выхода из кризиса за счёт мер по искусственному сдерживанию темпов индустриального роста и сокращению населения Земли не решает существующих проблем и противоречит сути созданной в течение тысячелетий нашей техногенной цивилизации, приводя в конечном итоге к её неминуемой деградации и гибели.

4. Человечество имеет реальную возможность для преодоления системного кризиса при сохранении техногенного (инженерного) вектора своего развития и отказе от предпринимаемых мер по искусственному сдерживанию темпов индустриального роста.

5. Антагонизм техносферы и биосферы принципиально разрешим при разделении их в пространстве – вынос вредоносной для природы части индустрии за пределы живой оболочки Земли – в ближний космос.

6. Путь к решению глобальных проблем лежит через создание и внедрение новых инженерных технологий в ключевых отраслях мировой экономики: транспорте, жилой и производственной инфраструктуре, сельском хозяйстве, энергетике.

7. Решение глобальных задач и преодоление системного кризиса цивилизации требуют трансформации господствующей социально-экономической модели и перехода от доминирования ценностей потребления к доминированию ценностей созидания.

8. Роль национальных государств и крупного транснационального капитала в мировой экономике должна быть ограничена во избежание конфликтов и войн за ресурсы и доминирование. Цель государств должна заключаться в обеспечении и усилении возможностей для существования национальных обществ и цивилизации в целом без участия государства, точно так, как и главная задача родителей – научить детей жить самостоятельно.

9. Основа глобальной социально-экономической трансформации, необходимой для решения задач выживания и развития цивилизации, – это новая модель расселения и уклада жизни людей, обеспечивающая максимально возможную на современном уровне технологического развития автономию каждого отдельного жилища и каждого отдельного жилого кластера, существующего в гармоничной и эффективной связи с другими подобными автономными социальными ячейками, рационально распределёнными по поверхности планеты, как сухопутной, так и водной.

10. Обеспечение доступа к неограниченным космическим ресурсам – пространственным, энергетическим, сырьевым и технологическим (невесомость и глубокий вакуум) – откроет перед человечеством безграничные

возможности для дальнейшего цивилизационного развития при сохранении своей идентичности в качестве состоявшейся геокосмической инженерной цивилизации.

11. Нигде в бескрайней Вселенной для землян нет и не может быть более подходящих условий для жизни, чем на нашей прекрасной Голубой планете. Поэтому человечество должно остаться жить в своём родном доме – на родившей его Земле, а точнее, в её тончайшей оболочке – биосфере планеты, причём в том её первородном состоянии, которое было до появления земной индустрии – антагониста всего живого.

12. Все сферы деятельности человечества, расположенные в его колыбели – на планете Земля, такие как сельское хозяйство, транспорт, энергетика, жилая и производственная инфраструктура, должны быть организованы в логике минимизации негативного влияния на окружающую биосферную среду. Вредоносная часть промышленности должна быть вынесена в ближний космос. Основополагающей должна стать цивилизационная формула: «Земля – для жизни. Космос – для индустрии».

Программа «ЭкоМир» призвана решить ряд важных задач.

1. Реализация и масштабирование транспортно-инфраструктурных комплексов Струнного транспорта Юницкого (ЮСТ) на всех континентах и во всех странах, как самых безопасных, самых энергоэффективных, самых экологически чистых, имеющих самый низкий уровень ресурсоёмкости (включая минеральные, энергетические и земельные ресурсы) и самую низкую себестоимость перевозок из всех известных человечеству транспортно-коммуникационных технологий.

2. Массовое внедрение безотходных и экологически чистых технологий реликтовой солнечной биоэнергетики, основанной на применении ископаемого топлива – бурых углей, горючих сланцев, торфа, отмершей органики и иного, впитавшего в себя минеральный состав реликтовых почв и энергию древнего Солнца.

3. Массовое внедрение технологий производства и применение в сельском хозяйстве органических удобрений, которые содержат высокую концентрацию ассоциаций тысяч видов агрономически ценных аэробных и анаэробных микроорганизмов, любовно собранных со всех континентов планеты в мировом Банке почв (создан на территории Крестьянского (фермерского) хозяйства «Юницкого», г. Марьина Горка, Беларусь).

4. Изменение модели расселения людей сначала в масштабах отдельных девелоперских проектов, а затем и в масштабах государств и планеты в целом. Переход к линейным пешеходным городам с транспортом ЮСТ эстакадного типа – с путевой структурой на «втором уровне» – в качестве основной формы организации проживания, трудовой и культурной миграции населения.

5. Реализация проекта общепланетарного транспортного средства Анатолия Юницкого, создание всей необходимой инфраструктуры для полноценного функционирования ОТС.

6. Создание космической индустрии с целью добычи внеземного сырья, получения внеземной энергии и производства внеземной продукции для нужд землян, к тому времени порядка 10 млрд человек.

Мы не мечтатели. Мы – практики. Всё больше людей по всему миру поддерживают нас. Мы видим проблемы, знаем пути решения, действуем.

Глобальные вызовы: антропогенное угнетение биосферы и нехватка земных ресурсов

Со второй половины прошлого столетия на Земле стали явно ощущаться глобальные проблемы, связанные с антропогенным угнетением биосферы и истощением природных ресурсов. При сохранении нынешних темпов роста и развития техносферы, созданной нашей технократической цивилизацией внутри своего биосферного дома, через два поколения прогнозируется такой уровень загрязнения и разрушения биосферы, такое истощение отдельных видов ресурсов, что наша планета может оказаться непригодной для жизни земного человечества.

Деградация природных экосистем прежде всего связана с истощением и разрушением живых плодородных почв, считающихся иммунной системой и основой здоровья земной биосферы. Именно почва определяет правильное течение естественных биогенных процессов, являясь начальным и конечным элементом замкнутых пищевых цепочек всех растительных и животных организмов, в том числе простейших, в которые также вписан и человек.

Одним из первых факторов истощения и разрушения земель стал сельский уклад жизни, вследствие которого плодородный слой подвергся многократному, в течение столетий, возделыванию с односторонним выносом незаменимых микро- и ультрамикроэлементных питательных веществ (практически всей таблицы Менделеева) вместе с урожаем. Это ускорило деградацию почв, их водную и ветровую эрозию, что невозможно компенсировать за счёт естественных процессов восстановления.



Дальнейшее развитие технологий интенсивного земледелия, использующего химические удобрения и ядохимикаты, привело к прямому загрязнению земель опасными для жизни химическими веществами и соединениями. Дополнительной причиной загрязнения стали оседающие и накапливающиеся в верхних слоях почвы вредные выбросы в атмосферу продуктов сжигания углеводородов (преимущественно автомобильным и авиационным транспортом и тепловыми электростанциями), неполной переработки ядерных отходов и горных пород (в том числе при выполнении вскрышных работ), а также канцерогенная пыль, выделяемая в результате износа автомобильных шин и асфальта.

Сегодня более 50 % мирового населения живёт в городах. Привычный урбанистический уклад современного человека не только уничтожает плодородные земли в границах мегаполисов, но и вместе с урожаем безвозвратно забирает в города из нормального биогенного сельскохозяйственного оборота пропорциональную (т. е. свыше 50 % всех продуктов питания) долю гумуса и полезных питательных веществ – более 80 химических элементов таблицы Менделеева в виде тысяч сложнейших органических соединений. В свою очередь, продукты земледелия после их использования городским населением в качестве продовольствия не возвращаются на возделываемые земли, так как все биогенные результаты их переработки оседают в городских отвалах и канализационных стоках.

Сравнительно недавно добавился ещё более опасный аспект экологического загрязнения – практика техногенного замещения биологических процессов. Имеется в виду широкая гамма трансгенных организмов, продуктов питания и лекарственных препаратов, разработанных на основе нано-, био-, генно- и инфотехнологий. Их использование достигло значительных масштабов и прочно вошло в обиход человека, став неотъемлемой частью биологической жизни. Это необратимо меняет ход развития всей биосферы и подрывает её способность к саморегулированию, которое создавалось и тонко шлифовалось в течение миллиардов лет эволюции, прошедших с момента зарождения жизни на нашей планете.

Ещё одно следствие антропогенного загрязнения атмосферной части биосферы – интенсивное разрушение озонового слоя, в том числе ракетными запусками и стратосферной авиацией.

Стремительное расширение техносферы приводит не только к загрязнению почв, атмосферы и водных ресурсов, но и к их исчерпанию: уже сегодня нехватка плодородных земель, чистого воздуха и питьевой воды считается острейшей проблемой во многих уголках планеты. По мнению специалистов, в течение ближайших 50–100 лет запасы нефти, газа, медных руд и других полезных ископаемых будут полностью израсходованы. Несмотря на столь неутешительные прогнозы, в сфере добычи и переработки наблюдается вынужденное наращивание затрат на энергопотребление, транспорт и очистные мероприятия, так как всё большая доля извлекаемых ископаемых приходится на бедные и труднодоступные месторождения.

Богатства и достижения современной цивилизации, которыми мы так гордимся, иллюзорны. Огромная часть жителей планеты испытывает нужду и голод, не имеет образования и медицинского обслуживания или просто находится на грани выживания. Одна из главных причин такого социального неравенства – несправедливое устройство современного мира, в котором экономически развитые государства хищнически эксплуатируют человеческие, природные и минеральные ресурсы экономически слаборазвитых стран, забывая о том, что Земля (точнее, её биосфера) – наш единственный и общий для всех миллиардов видов живых существ (а не только человека) космический дом. И другого такого дома у нас нет и не будет в обозримом будущем во всей необъятной Вселенной.

Предпосылки для нового космического вектора индустриализации

По современным представлениям, жизнь зародилась на Земле около 4 млрд лет назад. Развиваясь и приспосабливаясь к существовавшим на планете условиям, живые организмы начали преобразовывать окружающую среду. Так возникла биосфера с миллиардами видов живых организмов и преображённая ими за миллиарды лет планета – биосферный комплекс экосистем, где все без исключения элементы (живые и минеральные – почвенные, водные и воздушные) идеально подогнаны друг к другу.

Но вот появился человек, который благодаря разуму стал усиливать мощь своих мускулов, органов чувств, интеллекта, начал создавать технику, осваивать технологические процессы. Именно тогда человечество избрало индустриальный путь развития и испытало на себе конфликт между рукотворной техносферой и естественной биосферой. Наши предки сполна ощутили губительное воздействие смога и технологических отходов при приготовлении пищи на костре, выделывании шкур и использовании других первобытных индустриальных технологий в своём доме – пещере: в 20 лет они умирали от рака лёгких. Люди приняли вынужденное и единственно правильное решение – и выжили, догадавшись вынести свои простейшие производства в окружающую среду – биосферу. С тех пор биосфера Земли стала новым большим домом для зарождающейся техногенной цивилизации и глобальных индустриальных технологий.

Современная индустриальная мощь человечества – закономерный результат развития нашей цивилизации на протяжении тысяч лет. Некогда пещерный *Homo sapiens*, существовавший в локальных общинах с примитивными орудиями труда, превратился в современного урбанистического *Homo technocraticus* – создателя планетарной цивилизации с развитой индустрией. Естественно, большой биосферный дом планеты Земля оказался тесен для выросшей в размерах и мощности техносферы. На повестке дня вновь возник вопрос антропогенной угрозы для цивилизации, так как теперь и в большом доме стоит техногенный смог.

Заводы, фабрики, электростанции, станки, автомобили, дороги, линии электропередач и другие инженерные сооружения и оборудование в техносфере являются аналогами живых организмов в биосфере [1]. И они также обмениваются с окружающей средой энергией, информацией и веществом. При этом в принципе невозможно создать замкнутые, абсолютно «зелёные» инженерные технологические циклы в техносфере, о чём мечтают экологи, чтобы подобным образом решить все экологические проблемы на планете, вызванные индустрией.

Такой вывод можно проиллюстрировать следующей аналогией. В биосфере биологические технологические цепочки замкнули на себя миллионы видов микроорганизмов – своеобразных микроскопических станков, цехов и заводов, утилизирующих отходы жизнедеятельности всех без исключения живых организмов в биогумус, т. е. в питание для растений, а значит, в сырьё для других живых организмов. Они, эти «заводы», присутствуют в любой точке биосферы: в воздухе, воде и почве – до триллиона особей в каждом килограмме биосферного вещества (в воздухе – тысячи, в воде – миллионы, в почве – миллиарды). В техносфере невозможно создать что-то подобное – миллионы микроскопических заводов по переработке техногенных отходов одних производств в сырьё для других в любом кубическом сантиметре биосферного пространства, в котором, собственно, и размещена современная индустрия. Причём не просто заводов, а сверхсложных автономных автоматизированных производств, способных самостоятельно размножаться и обеспечивать себя энергией и сырьём, не строя для этого ни дорог, ни электростанций, ни линий электропередач.

Даже глобальную систему «Земля – Биосфера» нельзя считать замкнутой, так как в неё поступают энергия Солнца и космическое излучение, космическая пыль и метеоритное вещество, а в космическое пространство ночью излучается техногенный свет, и круглосуточно – радиоволны. Значит, техносфера, как и биосфера, будучи незамкнутой системой, также неизбежно станет преображать окружающую среду – планету Земля и её биосферу. Вопрос – как? Очевидно, что путём разрушения биосферы, поскольку техногенные мёртвые технологии являются антагонистами биологических технологий – метаболизма живых организмов.

Важные факты, на которые следует обратить особое внимание. Вся биосфера Земли по своей сути – миллиардолетний совокупный отход жизнедеятельности всех миллиардов, если не триллионов, видов живых организмов, существовавших ранее и существующих сегодня. Озон – это результат химических реакций преобразования кислорода, который, в свою очередь, непрерывно поступает в верхние слои земной атмосферы в виде отхода фотосинтетической активности растений и некоторых видов бактерий. Гумус, от содержания которого зависит плодородие природной почвы, образовался путём переработки в пищеварительной системе земляного (дождевого) червя и благодаря активности агрономически ценных тысяч видов аэробных и анаэробных почвенных микроорганизмов. Поэтому здоровая плодородная почва, такая как чернозём, содержит до триллиона микроорганизмов в каждом своём килограмме и фактически является иммунной системой всей земной биосферы. Именно здесь начинается пищевая цепочка для большинства живых организмов на планете, и именно здесь заканчивает свою жизнь всё живое.

Живой плодородный гумус земных почв – не только главный биосферный ресурс, но и ключевое составное звено глобальной иммунной системы: он кормит, поит и лечит биосферу и, соответственно, нас, людей, в том числе через здоровую пищу, выросшую на этой земле. От здоровья живых плодородных почв, которые почти повсеместно уничтожены пахотой, химическими удобрениями, ядохимикатами, индустриальными загрязнениями, зависит здоровье флоры, фауны и, конечно же, человека. В частности, именно ослабленная иммунная система биосферы, а значит, и человека, является основной причиной возникновения и распространения эпидемий и пандемий [2].

Глобальное обострение экологических проблем связано прежде всего с тем, что техносфера вплотную приблизилась к биосфере по объёму преобразований окружающей среды. Например, сейчас биосфера в процессе фотосинтеза воспроизводит в год около 250 млрд тонн

сухого органического вещества [3], что в пересчёте на топливо – всего на порядок больше годового потребления энергии всей техникой, имеющейся в распоряжении земной цивилизации. А объём перемещаемых и перерабатываемых техникой грунта, угля, руды и других видов минерального сырья уже превысил объём производства органического вещества биосферой.

Кардинальный выход из сложившейся ситуации всё тот же, что и сотни тысяч лет назад, в доисторическую эпоху. Для того чтобы обеспечить сохранение и развитие биосферы Земли, пригодной для жизни человеческой цивилизации, экологически опасную часть земной индустрии необходимо вынести за пределы нашего общего большого дома. Речь идёт о создании индустрии в космосе, где есть не только неисчерпаемые пространство, энергия и ресурсы, но и принципиально новые технологические условия – невесомость, глубокий вакуум, технологическая чистота и др. При этом многомиллиардное человечество должно продолжать жить, как и прежде, в своём биосферном доме по имени Планета Земля.

С биологической точки зрения люди сами по себе не представляют никакой опасности для планетарной экологии. Они являются одним из видов живых существ с общей биомассой около 500 млн тонн, их массовая доля в земной биосфере мизерна – менее 0,02 %. Например, общая масса термитов и муравьёв на планете существенно выше. Кроме того, они выделяют CO_2 и метан в процессе жизнедеятельности: при дыхании и пищеварении, причём в значительно большем относительном объёме, чем люди, так как метаболизм у них активнее из-за малых размеров.

Организм человека сформировался в результате эволюции в земных условиях и идеально подходит только к ним: к земной силе тяжести, магнитному и электрическому полю Земли, земному воздуху, насыщенному фитонцидами цветущих растений, земной родниковой воде, содержащей важные для землян десятки микроэлементов, продуктам питания, выращенным на земной живой плодородной почве, и ещё многому другому земному, о чём мы даже не подозреваем, но без чего не сможем существовать не только сегодня, но и в обозримом будущем.

Бессмысленно пытаться победить природу, от которой мы настолько зависимы, в её же доме: следует вынести мёртвые инженерные технологии за пределы планеты. Нынешней земной техногенной цивилизации требуется перезагрузка на космический вектор индустриального развития:

- Земля – для биосферы, человечества и экоориентированных технологий, необходимых земной техногенной цивилизации;
- Космос – для всех экологически вредных, энерго- и ресурсоёмких индустриальных технологий.

Первым шагом к реализации этой программы должно стать создание эффективной геокосмической транспортно-инфраструктурной системы на маршруте «Земля – Космос – Земля».

Механизм конкурентного устранения антропогенного угнетения биосферы

Космическая индустрия и её продукция в силу неисчерпаемости ресурсов и уникальности космической технологической среды обладают абсолютным – ценовым и качественным – конкурентным превосходством над нынешней техносферой Земли. Однако это преимущество проявит себя лишь при наличии эффективной геокосмической транспортной системы, обеспечивающей уровень транспортных затрат не более тех, что несут отрасли и предприятия современной техносферы планеты. Таким решением является общепланетарное транспортное средство (ОТС) инженера Юницкого [1], которое отличается уникальными показателями энергоэффективности, пассажиро- и грузоподъёмности, технико-экономическими преимуществами электрической тяги, а также экологической чистотой.

На II международной научно-технической конференции «Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты» [4] была выдвинута гипотеза последовательного конкурентного устранения нынешней техносферы Земли и связанного с ней вредного антропогенного угнетения биосферы. Созданная космическая индустрия должна стать абсолютно логичным и эффективным механизмом глобального перевооружения земной техногенной цивилизации в направлении космического вектора индустриализации.

По законам конкурентного рынка, если кому-то из его участников удаётся внедрить инновационную, более эффективную технологию, то и остальным участникам данного рынка, чтобы выдержать конкуренцию, тоже необходимо освоить эту или другую, не менее эффективную технологию [5]. Как только ту или иную продукцию нынешней техносферы Земли вытеснит с рынка превосходящая по цене и качеству продукция космической индустрии, то отрасли и предприятия, не выдержавшие подобной конкуренции, будут вынуждены остановить своё производство, а затем или объявить о банкротстве, или встроиться в новый космический вектор индустриализации и запустить программу своего космоиндустриального перевооружения.

Космический вектор индустриализации, обеспечивающий эффективную конкурентную и инвестиционную привлекательность программе «ЭкоМир», а также полностью отвечающий целям скорейшего устранения наиболее экологически вредных отраслей и предприятий техносферы Земли, предполагает, что сначала создаются и стремительными темпами наращиваются мощности базисных (как и для любой экономики) отраслей космической индустрии. Речь идёт о космической солнечной и водородной энергетике, космическом транспорте на водородном ракетном топливе, добыче и переработке минерального сырья астероидов и других космических тел, производстве из этого сырья конструкционных материалов и композитов, промышленных элементов, узлов и оборудования, строительстве на экваториальных орбитах Земли промышленных и жилых биосферных кластеров и др.

Именно базисные отрасли космической индустрии первыми должны вступить в конкурентную схватку на рынках энергии, сырья и материалов, транспортных услуг, чтобы одержать победу над своими земными индустриальными аналогами, которые являются главными источниками антропогенного угнетения биосферы. Кроме того, использование космических ресурсов по конкурентным тарифам обеспечит рыночное превосходство и всем остальным отраслям космической индустрии, формируемым на последующих этапах.

Неисчерпаемые ресурсы космоса – основа ценовой конкурентоспособности

Как отмечено ранее, ценовые и качественные конкурентные преимущества космической индустрии обусловлены легкодоступным и неисчерпаемым характером космических ресурсов, а также целым рядом физических особенностей космической технологической среды.

Так, высокая экономическая эффективность и конкурентная цена вырабатываемой в космосе солнечной электроэнергии определяются высокой удельной мощностью доступного круглые сутки солнечного потока в космосе – 1,37 кВт/м^2, в то время как на поверхности Земли мощность солнечного потока имеет значение около 0,1 кВт м^2, так как более 50 % солнечной энергии отражается и задерживается атмосферой, а остальная часть недоступна ночью, при облачности и пыльной буре, в туман, дождь, снег и др. [6]. Вместе с тем в космических солнечных электростанциях (КСЭС) не предполагаются затраты на топливо (добыча, транспортировка и утилизация отходов), достигающие 50–70 % себестоимости электроэнергии, по сравнению, например, с тепловыми и атомными электростанциями.

Отсутствие топлива и продуктов его сгорания исключит расходы на очистку и утилизацию вредных выбросов, а также на захоронение радиоактивных отходов и отработавшего ресурс заражённого оборудования. Простота технологии и низкая удельная материалоёмкость космических плёночных солнечных батарей существенно уменьшат удельные капитальные издержки и, как следствие, пропорционально минимизируют затраты на амортизацию и ремонт. Возможность направления энергоёмкого луча из космоса на Землю прямо к потребителю позволит избежать затрат на магистральную транспортировку электроэнергии по Земле, что особенно актуально для удалённых и труднодоступных территорий (при строжайшем соблюдении экологической и иной безопасности такой передачи энергии).

При этом основным потребителем космической солнечной энергии, не обязательно преобразованной в электричество, станут наиболее энергоёмкие орбитальные производства, такие как металлургические и химические заводы, которые будут интегрированы в электростанции, что, например, исключит необходимость в мощных линиях электропередач. К тому же невесомость позволит в разы снизить материалоёмкость и стоимость создания орбитальных цехов и заводов из невесомых конструкций и оборудования, не испытывающих гравитационных нагрузок, как на Земле.

Высокая эффективность и конкурентная цена добываемых в космосе астероидных полезных ископаемых определяются в том числе существенным уровнем концентрации в них полезного минерала, вплоть до самородного состояния, что означает кратное снижение расходов на добычу, транспортировку и обогащение подобного рудного сырья. Кроме того, для доставки индустриальных экспедиций к месту добычи будет использовано недорогое водородно-кислородное ракетное топливо, произведённое в космосе из воды с использованием дешёвой космической электроэнергии. Для энергопитания горно-шахтного оборудования будет затрачена полученная здесь же, в космосе, недорогая электрическая энергия. При этом в ресурсодобывающих отраслях не потребуются средства на очистку или утилизацию вредных выбросов, возврат пустой породы в карьер и его рекультивацию, а горно-шахтное оборудование благодаря невесомости также будет отличаться низкой удельной материалоёмкостью и, соответственно, меньшими капитальными и эксплуатационными расходами и амортизационными отчислениями.

Потребление космической энергии (в том числе электроэнергии), сырья и материалов, оказание геокосмических и космических транспортных услуг по тарифам, существенно меньшим, чем на Земле, усиливают синергию ценового конкурентного преимущества не только для всех базисных отраслей, но и для космической индустрии в целом. Таким образом, принимая во внимание стратегическую значимость базисных отраслей и необходимость проводить определённую тарифную политику в космосе, крайне важно, чтобы над этими космическими базисными отраслями со стороны международного оператора программы «ЭкоМир» был установлен управленческий контроль.

Одно из ключевых требований мёртвой космической среды, агрессивной для человека, – автоматизация и роботизация производственных процессов. Учитывая развитость этих технологий уже сегодня, ожидается основательное снижение операционных затрат. Отсутствие персонала и человеческого фактора при исключении каких бы то ни было природоохранных и экологических ограничений в качественно новой технологической среде, такой как невесомость и вакуум, существенно расширит технологические схемы и процессы, в том числе за счёт использования более эффективных, но ядовитых и опасных для Живой Природы веществ. Помимо прямого сокращения издержек на фонд заработной платы будут также минимизированы затраты на обеспечение условий безопасности труда и поддержку социальной инфраструктуры для сотрудников и их семей.

Примером истинно космической технологии станет 3D-печать. Она позволит полностью автоматизировать и роботизировать производство практически любой продукции, получать уникальные композиты из материалов разной плотности, создавать конструкции нужной пространственной формы с точными размерами и финишным качеством поверхностей, уменьшать количество технологических переделов сырья до одной операции, быстро изменять и расширять продуктовую линейку за счёт дистанционной переналадки производственных программ без обязательного изготовления новой оснастки, оперативно вносить в технологический процесс любые корректировки. Технология 3D-печати в невесомости и вакууме предоставляет возможность унифицировать форм-факторы применяемого в космосе сырья, ограничившись технологической жидкостью, пластической массой, проволокой или порошком, что существенно сократит номенклатуру сырья и оптимизирует космическую логистику. 3D-печать практически полностью исключит технологические отходы, а если таковые и возникнут, то затраты на их утилизацию в условиях космоса будут минимальными.

К некосмическим факторам ценового конкурентного преимущества космической индустрии можно отнести постоянное ужесточение экологических требований на планете, что приведёт к дополнительным расходам у предприятий нынешней земной техносферы. Экологические нормы на Земле никак не затронут космическую индустрию. Учитывая глобальные экологические цели и задачи программы «ЭкоМир», также вполне ожидаемо, что её участники получат поддержку в виде различных международных налоговых и торговых преференций.

Условия космической среды – основа качественной конкурентоспособности

Кроме ценовых преимуществ отраслям космической индустрии будут свойственны качественные конкурентные преимущества, определённые специфическими условиями космической среды:

- отсутствие гравитации (невесомость);
- глубокий вакуум;
- чистота технологической среды (отсутствие газов, пыли, микроорганизмов и иных загрязнений);
- криогенные и высокие температуры;
- другие условия, воссоздание которых на Земле ограничено и крайне затратно либо вовсе невозможно.

Преимущества космоса как места для развёртывания индустриальной техносферы связаны в первую очередь с особенностями среды, выгодно отличающимися от земных.

На Земле большинство твёрдых материалов проходят стадию размягчения или плавки в процессе их создания или обработки. В условиях гравитации пластический или жидкий материал удерживается, а его объём и поверхность формируются стенками технологической формы, что и является причиной многих технологических изъянов. В космосе ввиду отсутствия гравитации преобладают вторичные силы (например, поверхностное натяжение) – любой расплавленный или жидкий материал автоматически приобретает форму сферы. Изменить её можно бесконтактно и с помощью незначительного влияния внешних сил, действующих в акустическом, электромагнитном или электростатическом поле.

Основное преимущество композитных материалов состоит в том, что они получены из отвердевших веществ, чьи физико-химические, механические и другие свойства дополняют друг друга, и поэтому их качество зависит от однородности структуры. В условиях гравитации на Земле происходит неизбежное расслоение жидкостей разной плотности, что приводит к неоднородности структуры земных композитов. В космосе, в условиях микрогравитации или невесомости, композит легко получить изотропным, не имеющим объёмных дефектов структуры. Значит, он будет обладать существенно лучшими физико-механическими характеристиками. Такими материалами могут быть, например, пенопласты из металлов – стали, алюминиевых и медных сплавов, титана, вольфрама и иных, которые невозможно создать на Земле.

Другой сильной стороной космической технологической среды для производства являются технологическая чистота и глубокий вакуум. Условия, создаваемые современными вакуумными камерами, при высокой технологической стоимости (затраты на получение 1 м^3 глубокого вакуума на Земле соизмеримы со стоимостью добычи тонны нефти) намного хуже по сравнению с условиями открытого космоса. Даже добившись в вакуумной камере удовлетворительной чистоты, сохранить её не удастся из-за неизбежных загрязнений от стенок камеры и оснастки. А ведь чистота материалов – одно из важнейших требований к однородности структуры, а также к качеству материалов и изделий, изготовленных с их применением.

Ещё один продуктивный аспект космических условий – возможность сверхбыстрого охлаждения до сверхнизких температур, что в сочетании с другими особенностями космической среды открывает перед технологами самых различных отраслей новые способы управления фазовым составом производимых материалов, степенью их однородности, характером и плотностью дефектов кристаллической решётки.

В космосе легко создать и высокие температуры, например с помощью концентрации солнечного излучения. Именно поэтому многие металлургические технологии, предусматривающие плавление сырья, могут стать более эффективными, так как будут применяться в невесомости, бесконтактно и в абсолютно чистой среде в лучшем из теплоизоляторов – вакууме.

Специфические характеристики космической среды открывают самые широкие технологические перспективы не только для материаловедения и металлургии, но и для производства неметаллических материалов, веществ и компонентов, включая лекарства, органические и биологически активные вещества, что расширяет перспективы для фармацевтики и биоинженерии. В свою очередь, открытие новых материалов с уникальными свойствами – это технологический рывок в смежных отраслях.

Невозможность использования ракет-носителей и космического лифта для индустриализации космоса

Индустриализация космоса означает возникновение глобального грузопотока на геокосмических маршрутах: между космическим производством и земным человечеством как коллективным потребителем произведённой в ближнем космосе продукции.

При численности земного населения около 10 млрд человек и годовом производстве (расходовании) космической продукции на уровне 10 кг на каждого жителя планеты, что не так уж и много, геокосмическая транспортная система должна обеспечить фантастический по современным представлениям двухсторонний грузопоток – около 100 млн т/год. Именно поэтому ключевым элементом грядущей индустриализации космоса будет геокосмический транспорт на маршруте «Земля – Космос – Земля».

Стоимость вывода на низкую околоземную орбиту тонны полезного груза при помощи ракетного двигателя на жидком или твёрдом топливе составляет сегодня примерно 10 млн USD, а обратная доставка каждой тонны груза обходится вдвое дороже – 20 млн USD. Стоимость транспортировки грузов на более высокие орбиты, в том числе на геостационарную, вырастает в разы. Если опираться на современный ракетно-космический транспорт, то ежегодный бюджет для реализации масштабной программы индустриализации ближнего космоса существенно превысит 100 трлн USD/год – неоправданные и просто безумные издержки, значительно превосходящие нынешний мировой ВВП.

Об экологическом вреде ракет стоит сказать отдельно, поскольку ракетный вектор индустриализации космического пространства, освоения Луны и Марса рассматривается сегодня специалистами как наиболее приоритетный.

Разрушение озонового слоя, образование озоновых дыр совпадают по времени с началом полётов космических аппаратов. По мнению экологов, менее чем за 70 лет в результате запусков космических ракет-носителей, стратосферных самолётов и использования фреонов озоновый слой истощился на 8–9 % [7].

Если провести честную оценку ущерба от разрушения озонового слоя планеты, рассчитав расходы на его восстановление не природными (якобы «бесплатными»), а техногенными способами, то получение тонны озона будет стоить более 1000 USD[1]. Соответственно, чтобы восстановить озон в количестве более 10 млн тонн после пуска каждой тяжёлой ракеты-носителя, только электрической энергии необходимо затратить на сумму порядка 10 млрд USD. Если каждая тяжёлая ракета выведет на орбиту даже 100 тонн груза, что пока недостижимо, то на тонну полезной нагрузки придётся экологический ущерб в размере минимум 100 млн USD. Следовательно, экологический налог на освоение околоземного космического пространства с помощью ракет-носителей должен составить не менее указанных 100 млн USD экологического ущерба на каждую выводимую на орбиту тонну груза. И никакое перспективное удешевление стоимости пуска ракет не сможет уменьшить себестоимость выведения тонны груза на орбиту ниже данной отметки. При этом чувствительность биосферы к экологическому ущербу с каждым новым запуском ракет-носителей будет всё выше и выше.

За всю историю ракетной космонавтики на орбиту выводилось в среднем не более 300–400 тонн грузов ежегодно. Такую же транспортную работу – перемещение до 400 тонн грузов в год на расстояние в 300 км – на планете способна выполнить одна лошадь, запряжённая в одну-единственную телегу. Однако, как одна телега не сможет сегодня обслуживать транспортные нужды 8 млрд человек, так и в будущем вся мировая ракетно-космическая отрасль, эквивалентная как транспорт всё той же одной-единственной телеге, будет не в состоянии удовлетворить нужды космической индустрии, завязанной на потребностях десятка миллиардов землян. И это без учёта финансовой составляющей, ведь доставка тонны груза на орбиту ракетами-носителями обходится сейчас в среднем в 10 млн USD, а общие затраты на освоение космоса за 60 лет космической эры уже превысили 2 трлн USD.

Не является альтернативой ракетам и часто упоминаемая в прессе технология космического лифта на растянутом канате. Она была предложена ещё в 1959 г. и научно проработана в 1975 г. советским инженером Ю.Н. Арцутановым. Во-первых, в настоящее время человечество не научилось производить материал достаточно высокой прочности и низкой плотности, который можно было бы растянуть от поверхности Земли гораздо дальше геостационарной орбиты – почти на 100 000 км. Во-вторых, строительство космического лифта следует вести сверху вниз – с геосинхронной орбиты к поверхности Земли и в противоположную сторону (для уравновешивания конструкции лифта), поэтому существующие ракетно-космические технологии даже за тысячи лет не справятся с задачей стартовой транспортировки миллионов тонн конструкций на столь высокую орбиту.

Это далеко не все причины несостоятельности технологии космического лифта для целей индустриализации ближнего космоса. Производительность такого сооружения в тысячи раз меньше требуемой (до 10 000 т/год) при стоимости строительства не менее 10 трлн USD, поэтому данная геокосмическая транспортная система будет ещё более нерентабельной, чем ракетно-космическая. Кроме того, движение по канату вверх на геосинхронную орбиту (высота 35 786 км над уровнем моря) электрической кабинки лифта, скорость движения которой не может превышать 150–200 км/ч ввиду неблагоприятной динамики такой сверхдлинной гибкой нити (из-за возникающих сил Кориолиса), займёт больше недели, т. е. путешествие в космос будет более длительным, чем, например, сегодняшняя поездка по Транссибирской магистрали из Москвы во Владивосток.

Общепланетарная транспортная система инженера Анатолия Юницкого

Сложно прогнозировать, как в дальнейшем будет развиваться техника, и космическая в том числе. Единственное, что можно утверждать с полной уверенностью, – какой бы эта техника ни была, она должна подчиняться фундаментальным законам физики нашего мира. Такие природные законы, многократно проверенные практикой, останутся справедливыми во все времена. В области механики к их числу относятся четыре закона сохранения, к которым могут быть сведены все остальные частные законы сохранения, а именно: энергии, импульса, момента импульса и движения центра масс системы. По этим законам спроектирован весь современный транспорт – телеги, велосипеды, автомобили, поезда, корабли, самолёты, вертолёты, ракеты. Космический транспорт не станет исключением [8–11].

[1] Основным фактором, обуславливающим затраты на производство озона, является расход электроэнергии. Лучшие промышленные озонаторы потребляют около 10 кВт·ч энергии для получения килограмма озона [7]. При среднемировой стоимости электроэнергии порядка 0,1 USD/(кВт·ч) стоимость электроэнергии, необходимой на получение тонны озона, составит примерно 1000 USD. На самом деле эти вложения будут значительно выше с учётом стоимости оборудования и накладных расходов.

Необходимо, чтобы кроме фундаментальных законов физики геокосмическая транспортная система также отвечала целому ряду дополнительных условий и требований:

- должна быть выполнена не как стационарное сооружение, а как летательный аппарат сверхбольшой грузоподъёмности – не менее миллиона тонн;
- должна использовать только внутренние силы системы, минимизируя какое-либо взаимодействие с окружающей средой, в том числе исключая линейное опирание на поверхность земли;
- её КПД должен быть близок к 100 %, а производительность составлять миллионы тонн в год (в перспективе – миллиарды тонн);
- при спуске обратно на Землю должна обеспечивать рекуперацию потенциальной и кинетической энергии космических грузов и собственной конструкции с КПД, близким к 100 % (в противном случае гигантское тепловыделение просто уничтожит систему);
- должна потреблять электрическую энергию, а мощность приводов геокосмической транспортной системы в пересчёте на тонну груза должна быть невысокой – около 100 кВт, например, как у легкового электромобиля (для сравнения: удельная мощность ракеты-носителя в 10 000 раз выше – 1 млн кВт/т);
- ускорение разгона и торможения при геокосмических перевозках должно быть комфортным для пассажиров и приемлемым для грузов (не более 1 м/с^2), при этом время выхода на орбиту и разгона до первой космической скорости должно исчисляться в часах, а не в сутках.

С позиций физики самый экологически чистый геокосмический летательный аппарат, использующий для выхода в космос только свои внутренние силы, имеет единственный вариант исполнения: самонесущая конструкция, охватывающая планету в плоскости экватора, с центром масс, совпадающим с центром масс планеты.

Всем перечисленным выше условиям и требованиям отвечает только одно инженерное решение – ОТС, разработанное инженером Анатолием Юницким. ОТС представляет собой тороидальную конструкцию с поперечным сечением в несколько метров, опоясывающую планету в плоскости экватора и имеющую в своей сердцевине ленточные маховики, размещённые в вакуумных каналах. Маховики, разгоняемые линейными электродвигателями до космических скоростей (около 10 км/с), за счёт центробежных сил обеспечивают необходимую подъёмную силу. Переключение тяги с одного маховика на другой приводит корпус ОТС во вращение вокруг планеты, вплоть до получения первой космической скорости на заданной экваториальной круговой орбите. При подъёме на каждые 100 км над поверхностью Земли диаметр кольца ОТС симметрично увеличивается во все стороны относительно центра на 1,57 %, при этом положение центра масс ОТС всегда остаётся неизменным и совпадает с центром масс планеты.

Проект ОТС был разработан около 50 лет назад и за это время многократно исследован и проверен расчётными методами, которые подробно описаны в научно-популярных публикациях автора[2] и в его монографиях[3].

ОТС – единственное техническое решение, в котором транспортная система (точнее, самонесущий летательный аппарат) способна выводить грузы на различные круговые экваториальные орбиты, причём без использования реактивных двигателей, применяя лишь внутренние силы системы, без какого-либо энергетического, механического, химического и других видов взаимодействия с окружающей средой, в том числе с атмосферой и её озоновым слоем. Таким образом, ОТС является предельно экологически чистым решением для геокосмической логистики применительно к любой планете, в том числе к Земле.

За один рейс ОТС способно выводить на орбиту порядка 10 млн тонн грузов и 10 млн пассажиров, которые будут задействованы в создании и функционировании околоземной космической индустрии.

За один год ОТС сможет выходить в космос до 100 раз. При этом затраты на доставку каждой тонны полезного груза на орбиту окажутся в тысячи раз ниже, чем у современных ракет-носителей, и составят менее 1000 USD/т. То есть стоимость пассажирского билета на орбиту будет в пределах 100 USD при комфорте путешествия, превышающем удобство современного поезда.

[2] Юницкий, А.Э. Пересадочная, космическая, кольцевая / А.Э. Юницкий // Изобретатель и рационализатор. – 1982. – № 4; Юницкий, А.Э. В космос… на колесе / А.Э. Юницкий // Техника – молодёжи. – 1982. – № 6; Юницкий, А.Э. Спасательный круг планеты / А.Э. Юницкий // Век XX и мир. – 1987. – № 5; др.

[3] Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Гомель: Инфотрибо, 1995. – 337 с.: ил.; Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Минск: Беларус. навука, 2017. – 342 с.: ил.; Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.; др.





Технико-экономическое обоснование масштабных геокосмических перевозок

Себестоимость геокосмических перевозок ОТС складывается из трёх основных составляющих:

1) затраты электрической энергии;

2) заработная плата персонала (с налогами и отчислениями);

3) амортизационные расходы на ОТС и обслуживающий его экваториальный транспортно-инфраструктурный комплекс ЮСТ со взлётно-посадочной эстакадой.

Полный запас энергии, требуемой для подъёма в ближний космос ОТС общей массой 40 млн тонн (около 1 т/пог. м), в том числе доставленной на орбиту полезной нагрузки массой около 10 млн тонн (250 кг/м), и возвращения на Землю (уже без полезной нагрузки), составляет примерно $4{,}2 \times 10^{11}$ кВт·ч.

Для обеспечения ОТС стартовой электрической энергией целесообразнее иметь собственные электростанции, что позволит распределять её внутри геокосмической системы по себестоимости – порядка 0,05 USD/(кВт·ч). Кроме того, дополнительную энергию можно брать из сети стран экваториального пояса планеты, по территории которых пройдёт стартовая эстакада ОТС. Наиболее выгодно это делать ночью, так как ночные тарифы ниже дневных в 2–2,5 раза.

Ориентировочная стоимость полной энергии E_0, необходимой для первого запуска ОТС, составит:

420 млрд кВт·ч × 0,05 USD/(кВт·ч) = 21 млрд USD,

а удельная стоимость при общей массе полезной нагрузки 10 млн тонн – 2100 USD/т. При этом однажды разогнанные маховики смогут вращаться внутри вакуумных каналов годами, потому что магнитная подушка на постоянных магнитах, как и вакуум, не станет создавать сопротивление при их движении с космическими скоростями.

Значит, энергозатраты для второго и последующих полётов ОТС будут связаны только с частью полной энергии, пропорциональной перевозимому грузу, а также с внутренними потерями энергии, оцениваемыми не выше 10 %. Впрочем, теоретически их можно уменьшить до 5 % и даже ниже, до 1–2 %. Когда ОТС станет подниматься вверх, оно передаст энергию земному грузу, а при спуске, по аналогии с падающей водой гидроэлектростанции, наоборот, груз из космоса передаст ОТС свою потенциальную и кинетическую энергию. Учитывая, что после создания космической индустрии на экваториальных круговых орбитах основной грузопоток будет осуществляться из космоса на Землю, ОТС начнёт генерировать электроэнергию, работая в том числе и как гигантская динамо-машина общей мощностью порядка 100 млн кВт.

Из этого следует, что основная удельная энергосоставляющая себестоимости только для подъёма тонны груза составит:

$$E_1 = 2100 \text{ USD/т} \times (25\ \% \text{ массы брутто ОТС} + 10\ \% \text{ потерь КПД ОТС}) = 735 \text{ USD/т}.$$

Основная удельная энергосоставляющая себестоимости для спуска тонны груза будет равна отрицательной величине (т. е. ОТС станет источником, а не потребителем энергии):

$$E_2 = 2100 \text{ USD/т} \times (-25\ \% \text{ массы брутто ОТС} + 10\ \% \text{ потерь КПД ОТС}) = -315 \text{ USD/т},$$

так как спускаемый груз не затрачивает, а передаёт ОТС свою космическую потенциальную и кинетическую энергию.

Основная удельная энергосоставляющая себестоимости рейса в обе стороны с полной загрузкой:

$$E_3 = 2100 \text{ USD/т} \times 10\ \% \text{ потерь КПД ОТС} / \text{две грузоперевозки} = 105 \text{ USD/т}.$$

ОТС и экваториальный взлётно-посадочный комплекс (ЭВПК) будут работать в автоматическом режиме. Однако обеспечение их функционирования потребует создания не менее 200 000 рабочих мест[4] со средней заработной платой вместе с налогами на уровне 50 000 USD/год и годовыми общими затратами по зарплате 10 млрд USD. Тогда составляющая удельной себестоимости (СУСС) в части зарплаты при 50 рейсах в год с полной загрузкой 10 млн тонн груза по маршруту «Земля – Космос» ориентировочно составит:

$$\text{СУСС} = 10 \text{ млрд USD/год} / 50 \text{ рейсов/год} / 10 \text{ млн т/рейс} = 20 \text{ USD/т}.$$

ОТС по сложности оборудования и составу комплектующих в целом эквивалентно электромобилю (например, марки Tesla стоимостью 50 000–75 000 USD и весом 2–3 тонны), стоимость тонны конструкции которого не превышает 25 000 USD/т. Поскольку масса снаряжённого ОТС (без полезной нагрузки) составит около 30 млн тонн, то капитальные затраты на его создание (проектирование и строительство) будут равны:

$$30 \text{ млн тонн} \times 25\,000 \text{ USD/т} = 750 \text{ млрд USD}.$$

[4] Для обслуживания 1 км длины ОТС необходимо около пяти специалистов.

После того как космическая индустрия заработает на полную мощность и начнётся освоение астероидов и Луны как источников сырья, потребность в доставке оборудования и материалов с Земли значительно снизится. При этом обратный нисходящий грузопоток с орбиты на планету существенно превысит прямой восходящий грузопоток, так как основную часть промышленной продукции для землян планируется доставлять из космоса. ОТС будет выводить меньше полезной нагрузки на орбиту (оценочная загруженность одного рейса по восходящему маршруту составит только 20 %) и прежде всего станет подниматься в космос именно за произведённой там продукцией.

Следовательно, при соблюдении средних многолетних эксплуатационных условий для ОТС (например, 50 лет функционирования и 50 рейсов в год; грузоподъёмность 10 млн тонн; загрузка ОТС на маршруте вверх – 20 %, на маршруте вниз – 100 %) валовый объём грузов, перевезённых в обе стороны за весь период эксплуатации (амортизации) ОТС, составит около 30 млрд тонн. Таким образом, ориентировочные амортизационные отчисления на тонну груза от капитальных вложений в ОТС при таких допущениях будут равны:

$$C_{\text{ОТС}} = 750 \text{ млрд USD} / 30 \text{ млрд тонн} = 25 \text{ USD/т}.$$

Протяжённость экваториального взлётно-посадочного эстакадного комплекса, включая ЮСТ для наземных перевозок, составит 40 076 км, из которых примерно 20 % длины – сухопутные участки, 80 % – морские. Поскольку ОТС предназначено не только для выхода в космос, а в первую очередь для выведения на орбиту грузов и пассажиров, то вдоль экватора на планете и вдоль экваториальной орбиты в космосе появятся транспортно-инфраструктурные коммуникаторы ЮСТ, созданные по принципу «5 в 1». В них войдут наземные и орбитальные комплексы городского (скоростного), высокоскоростного, ультраскоростного и гиперскоростного транспорта, энергетические и информационные коммуникации и линии связи. Будут также построены электростанции, узлы грузопассажирской логистики, промышленные и жилые кластеры, объединённые в экваториальный линейный город (ЭЛГ), в котором станут жить и работать порядка 100 млн человек (около 1 % земного населения).

Стоимость такого комплекса (в том числе ЮСТ), возведённого на планете Земля, можно оценить в 1320 млрд USD, исходя из того, что в среднем она будет составлять 25 млн USD/км на сухопутных территориях и 35 млн USD/км на морских участках. С учётом общего объёма перевезённых ОТС грузов за полный срок эксплуатации амортизационные отчисления на тонну груза от капитальных вложений в транспортно-коммуникационную часть наземного ЭВПК будут равны:

$$C_{\text{ЭВПК}} = 1320 \text{ млрд USD} / 30 \text{ млрд тонн} = 44 \text{ USD/т}.$$

Таким образом, полные амортизационные отчисления складываются из затрат на восстановление ОТС и ЭВПК:

$$C_{\text{аморт}} = C_{\text{ОТС}} + C_{\text{ЭВПК}} = 25 \text{ USD/т} + 44 \text{ USD/т} = 69 \text{ USD/т}.$$

Анализ данных, приведённых в таблице 1, позволяет сделать следующие выводы: самая высокая себестоимость геокосмических перевозок в первый год эксплуатации связана преимущественно с восходящим грузопассажирским потоком. Это, в свою очередь, обусловило отсутствие компенсационных доходов от генерации спуска, а также низкий объём перевезённых грузов и пассажиров, что повлекло за собой высокое удельное значение затрат на зарплату. Тем не менее такие показатели будут более чем в 1000 раз ниже, чем у ракет-носителей в самых оптимистичных прогнозах. По мере роста объёма перевозок, как прямых, так и обратных, их себестоимость станет уменьшаться.

На десятом году эксплуатации, когда грузопоток с орбиты на планету существенно превысит грузопоток с планеты на орбиту (500 и 100 млн т/год соответственно), удельная себестоимость перевозок окажется отрицательной (–81 USD/т). Это означает, что геокосмический комплекс ОТС принесёт прибыль не только как транспорт, но и как гигантская линейная кинетическая электростанция протяжённостью более 40 000 км, имеющая ленточные маховики общей массой порядка 20 млн тонн, способные рекуперировать избыточную потенциальную и кинетическую энергию космического груза в электрическую энергию.

Из данных, приведённых в таблице 1, можно сделать следующие выводы:

1) себестоимость геокосмических перевозок падает по мере роста общей годовой производительности, т. е. суммарного прямого и обратного грузопотока, при этом наибольшая доля удельных затрат будет приходиться на передачу энергии грузу при выведении его на орбиту в течение первых шести лет эксплуатации;

2) обратный грузопоток по мере своего роста оказывает всё большее влияние на снижение себестоимости геокосмических перевозок. ОТС на восьмом году эксплуатации перестанет потреблять энергию и, наоборот, начнёт работать в цикле «Земля – Космос – Земля» как гигантская кинетическая аккумулирующая электростанция;

3) после седьмого года эксплуатации доминирующим фактором в формировании удельной себестоимости геокосмических перевозок станет компенсация энергетических потерь, которые можно будет снизить путём повышения общего КПД ОТС (например, при увеличении КПД с принятых в расчётах 90 до 95 % эти потери упадут в два раза – с 10 до 5 %, а при КПД 99 % уменьшатся в 10 раз);

4) минимальное влияние на удельную себестоимость перевозок оказывает заработная плата обслуживающего персонала (после восьмого года – 17 USD/т), поэтому, например, повышение заработной платы на десятом году эксплуатации ОТС даже в пять раз (увеличение годового фонда заработной платы с 10 до 50 млрд USD) существенно не отразится на себестоимости геокосмических перевозок – она всё равно будет отрицательной (доставка каждой тонны груза с Земли в космос и из космоса на Землю даст в таком случае удельную прибыль, равную 13 USD/т);

5) затраты на амортизацию ОТС (69 USD/т) также не имеют существенного влияния на удельную себестоимость геокосмических перевозок. Это говорит о том, что даже если стоимость создания геокосмического транспортно-инфраструктурного комплекса (всего 2,07 трлн USD, из них ОТС – 0,75 трлн USD и ЭВПК – 1,32 трлн USD) на самом деле окажется больше, например, в два раза, и превысит 4 трлн USD, себестоимость геокосмических перевозок всё равно будет отрицательной – доставка каждой тонны груза в космос и обратно на Землю даст в данном случае удельную прибыль, равную 12 USD/т.

Таблица 1 – Объёмы и себестоимость геокосмических перевозок ОТС в первые 20 лет эксплуатации (оптимальный вариант геокосмической логистики)

Год (с начала эксплуатации ОТС)	Годовой объём перевозок, млн тонн		Составляющие удельных затрат на геокосмическую транспортировку тонны груза, USD/т					Удельная себестоимость перевозок, USD/т, (–) – прибыль
	На орбиту	На Землю	Энергия груза	Энергия потерь	Зарплата	Амортизация	Прочее	
1	100	10	430	191	91	69	8	789
2	200	50	315	168	40	69	8	600
3	300	100	263	158	25	69	8	523
4	400	150	239	153	18	69	8	487
5	500	200	225	150	14	69	8	466
6	500	250	175	140	13	69	8	405
7	400	300	75	120	14	69	8	286
8	300	350	–40	113	15	69	8	165
9	200	400	–175	140	17	69	8	59
10	100	500	–350	175	17	69	8	–81
11	100	500	–350	175	17	69	8	–81
12	100	500	–350	175	17	69	8	–81
13	100	500	–350	175	17	69	8	–81
14	100	500	–350	175	17	69	8	–81
15	100	500	–350	175	17	69	8	–81
16	100	500	–350	175	17	69	8	–81
17	100	500	–350	175	17	69	8	–81
18	100	500	–350	175	17	69	8	–81
19	100	500	–350	175	17	69	8	–81
20	100	500	–350	175	17	69	8	–81
Итого	4000	7310						

Приведённый анализ показывает, что ОТС обладает беспрецедентными технико-экономическими показателями. Так, даже при нулевой стоимости проезда (т. е. проезд пассажира и доставка тонны груза по маршруту «Земля – Космос – Земля» будут бесплатными) строительство данного геокосмического транспортно-инфраструктурного комплекса окажется рентабельным – он после девятого года эксплуатации принесёт прибыль более 48 млрд USD/год. При этом каждые 100 USD оплаты за транспортировку тонны груза дадут ежегодную дополнительную прибыль в 60 млрд USD (например, если стоимость доставки груза составит для потребителя геокосмической логистики 1000 USD/т (при нынешних 10 млн USD/т для ракет-носителей), то прибыль эксплуатирующей организации достигнет 600 млрд USD/год).

Компоненты будущей космической техногенной цивилизации

ОТС – это не просто геокосмическая транспортная система, позволяющая снизить затраты на геокосмическую логистику, сократить техносферные издержки и решить глобальные экологические проблемы на планете. Весь окружающий нас мир создан инженерами, чьи самые смелые идеи, воплощённые в технологиях, послужили человечеству, проложили дорогу новым открытиям, которые должны помочь нам справиться с глобальными экологическими, ресурсными и социальными вызовами современности и спасти будущие поколения от грядущей катастрофы. Разработанные инженером Анатолием Юницким струнные технологии, развёртывание ОТС и перенос с его помощью земной техносферы в ближний космос – всё это станет инструментами построения нового ЭкоМира.

ЭкоМир – более совершенный мир, представленный триединством БиоМира, ТехноМира и ХомоМира, которые в совокупности образуют комплекс оптимальных условий для устойчивого роста и дальнейшего развития техногенной земной цивилизации в космическом направлении.

1. БиоМир – восстановленная и сбалансированная планетарная, открытая в космос биосферная экосистема, включающая земное человечество, которая более не испытывает антропогенного угнетающего воздействия техносферы и продолжает развиваться по законам эволюционно сложившейся земной Живой Природы. Компоненты БиоМира:

- естественные и культурные (органическое земледелие) экосистемы на суше планеты, в том числе водные (озёра, реки и др.);
- океаническая, морская и атмосферная экосистемы с возможностью экологически чистого управления погодой, климатом и иными системами планеты природными методами;
- растительный и животный мир сухопутных и водных экосистем (включая микрофлору и микрофауну) с сохранённым их биоразнообразием;
- земное человечество, каждый индивидуум которого здоров и счастлив.

2. ТехноМир – вновь созданные индустриальные компоненты:

- земная индустрия, сформированная на основе новых экоориентированных технологий и состоящая только из необходимых человеку внутри биосферы Земли технологических отраслей;
- космическая индустрия, включающая вынесенные за пределы биосферы Земли энергозатратные, ресурсоёмкие, экологически вредные и другие отрасли промышленности, которые в условиях космической технологической среды приобретают абсолютное конкурентное ценовое и качественное превосходство по отношению к предшествующей земной индустрии;
- геокосмический транспортно-инфраструктурный комплекс ОТС, обеспечивающий экологически чистую для земной биосферы транспортно-логистическую связь между земными и космическими компонентами индустриального ТехноМира с грузо-, энерго-, инфо- и пассажиропотоками планетарного индустриального масштаба;
- искусственный интеллект для управления всеми вышеназванными компонентами под многоуровневым контролем ХомоМира.

3. ХомоМир – усовершенствованное мировое общественно-политическое устройство, основанное на консолидации международного сообщества биологических людей (но не оцифрованных биороботов-конвергентов) вокруг единого управляющего центра, аккумулирующего территориальный, финансовый, экономический, научный, кадровый, военный и политический потенциал всех стран – участниц программы «ЭкоМир».

Это откроет путь к неисчерпаемым и доступным ресурсам космоса и на базе космоориентированной экономики земной техногенной цивилизации создаст новые социально-политические и экономические условия для максимально полной реализации целей устойчивого развития биологического человечества, в том числе для обеспечения социальной справедливости, равноправия, свобод, гармоничного развития, а также права каждого жителя планеты на достойную, долгую и счастливую жизнь.

ХомоМир развивается и управляется людьми, использующими в качестве помощника и советника (но не руководителя) искусственный интеллект. Главная ценность ХомоМира – человечность Человека и его духовность как социобиологической сущности, созданной Мирозданием (Богом) в результате миллиардов лет эволюции жизни в космическом доме по имени Планета Земля.

Планета Земля навсегда останется домом для человечества

Нигде в огромной Вселенной нет и не может быть даже в отдалённом будущем более подходящих условий для жизни человечества, чем наша родная планета.

Однако люди нуждаются как минимум в четырёх отраслях экоориентированной индустрии рядом с собой внутри биосферного дома Земля:

1) производство природных экологически чистых (т. е. натуральных) продуктов питания;

2) получение «зелёной» электроэнергии, тепла (в холодном климате) и холода (в жарком климате) без ущерба для биосферной экологии;

3) строительство экокомфортного жилья, производственных зданий и сооружений;

4) функционирование транспортной, энергетической и информационной экоориентированной инфраструктуры.

Никакая из этих (и других) отраслей техносферы Земли не должна оказывать антропогенного угнетающего воздействия на окружающую земную биосферу. Они должны отличаться высокой эффективностью, низким энерго- и ресурсопотреблением и демонстрировать высокие показатели качества. Эти условия обеспечат только экоориентированные технологические платформы.

Технологическая платформа **uGreen** – органическое земледелие в новой логике воссоздания и интенсификации природных биосферных процессов путём прямого заимствования и использования естественных природных почвенных экосистем со своими микрофлорой, микрофауной и биогеоценозом, а также в логике полного отказа от применения каких-либо синтетических химикатов (удобрения, средства защиты растений и др.), технологий генной модификации и иных элементов традиционного интенсивного земледелия. Принцип такого органического земледелия на базе природного биогумуса продиктован тем, что сложившиеся эволюционным путём биосферные экосистемы и происходящие в них процессы настолько сложны, что не представляется возможным их полностью изучить и, соответственно, точно воспроизвести методами биоинжиниринга и природоподобных технологий. Однако некоторые процессы можно улучшать и культивировать для повышения органического плодородия почв и борьбы с их опустыниванием. Подобное экоориентированное органическое земледелие полностью исключает какое-либо угнетающее антропогенное воздействие на биосферу Земли, имеющей историю эволюции жизни около 4 млрд лет.

Технологическая платформа **uEnergy** – генерация «зелёной» электрической и тепловой энергии с использованием:

- специально оборудованных теплоэлектростанций для экологически чистого сжигания бурого угля, сланцев, торфа и другого сырья органического происхождения с целью выработки живого плодородного гумуса из отходов их горения;
- возобновляемых источников энергии – энергии Солнца на Земле и в космосе, а также энергии ветра и морских течений;
- пары «водород – кислород» в качестве топливного аккумулятора для решения задач оптимизации энергетической отрасли планеты и космических перевозок.

Технологическая платформа **EcoHouse** – экоориентированное строительство на Земле жилых и производственных зданий и сооружений с открытым для внешней природной (биосферной) среды придомовым пространством, заполненным естественной и культурной (органическое земледелие) экосистемами, в которых атмосферные, почвенные и водные параметры регулируются земной природой. Почва из-под зданий при их строительстве переносится на крыши и этажи, затем обогащается живым гумусом. Данное озеленение проходит сообразно принципу: любое строительство на планете – это увеличение площади плодородных почв и повышение их плодородия. В отдельных случаях, когда естественную внешнюю среду планеты Земля отличает экологическая загрязнённость или суровые природно-климатические условия (например, в Антарктиде), когда возникает необходимость нахождения в подводном или подземном пространстве, а также для решения научно-исследовательских задач, связанных с жизнеобеспечением человека в космосе, сооружение EcoHouse трансформируется в ЭкоКосмоДом на планете Земля (ЭКД-Земля).

ЭКД-Земля – земное сооружение, предназначенное для автономного и неограниченно длительного проживания человеческого поселения расчётной численности,

во внутреннем замкнутом пространстве которого поддерживаются условия для развития природных экосистем. Здесь имеется совокупность всех необходимых для этого свойств биосферы планеты, а также моделируются дополнительные технологические процессы, гарантированно обеспечивающие потребности человека для достойного проживания (параметры атмосферы и среды обитания, пищевые ресурсы и др.). ЭКД-Земля является земной биосферной моделью проекта космического дома инженера Юницкого в части создания и организации внутреннего пространства и всех соответствующих составляющих (биосфера, технологии, взаимосвязи процессов и др.) с замкнутым круговоротом вещества (живого и минерального), энергии и информации.

Технологическая платформа **«Струнные технологии Юницкого» (ЮСТ)** – строительство (вдоль пешеходных линейных городов кластерного типа) транспортно-инфраструктурных и энергоинформационных сетей uNet, создаваемых на основе предварительно напряжённых (струнных) конструкций Юницкого. Предназначена для обеспечения всех необходимых коммуникационных связей между объектами (и континентами) на Земле; между объектами в ближнем космосе, движущимися по круговым экваториальным орбитам; между объектами на Земле и в ближнем космосе.

Экваториальный линейный город и EcoHouse – новая урбанистика

Важнейший земной компонент геокосмического транспортно-инфраструктурного комплекса – **экваториальный линейный город (ЭЛГ)**. На его территории расположена взлётно-посадочная эстакада ОТС со всей инфраструктурой, требуемой для реализации полётов и обслуживания глобальных геокосмических грузопассажирских потоков. ЭЛГ гармонично вписан в природную среду сухопутных и водных участков планеты в виде поселений кластерного типа, которые размещены в полосе экваториальной зоны и соединены между собой транспортными системами «второго уровня» – трассами **Струнного транспорта Юницкого (ЮСТ)**.

ЭЛГ является частным случаем новой линейной урбанистической концепции программы «ЭкоМир», именуемой «линейный город uCity». Это застройка жилых, административных и индустриальных кластеров с использованием экоориентированных технологий EcoHouse и ЭКД-Земля:

- **uEnergy** – снабжение поселений «зелёной» электроэнергией и теплом;
- **uGreen** – обеспечение натуральными (органическими) продуктами питания;
- **uNet** – формирование транспортной, энергетической и информационной наземной коммуникационной сети с применением экоориентированных струнных технологий ЮСТ.

Основные элементы структуры ЭЛГ, которые распределяются согласно общей функциональной схеме:

- взлётно-посадочная эстакада ОТС с размещёнными на ней инженерными и коммуникационными сетями;
- комплексы связи, астронавигации и автоматизированного управления ОТС и геокосмической индустриальной техносферой;
- кластеры по производству компонентов земной составляющей геокосмической техносферы, а также по сборке, обслуживанию и ремонту узлов ОТС;
- энергетические кластеры, обеспечивающие энергией все части геокосмического комплекса и процессы взлёта и посадки ОТС;
- участки глобальной наземной транспортно-коммуникационной сети uNet, сети регионального и внутригородского транспортного сообщения в зоне ЭЛГ;
- логистические геокосмические центры, грузовые терминалы, пассажирские станции и вокзалы;
- жилые комплексы кластерного типа;
- кластеры с научными, учебными, культурными, оздоровительными, спортивными и иными учреждениями;
- сохраняемые и экоразвиваемые природные комплексы.

Как и всю остальную земную техносферу, необходимую человеку внутри биосферного дома Земля, линейные города отличает отсутствие антропогенного угнетающего воздействия на биосферу планеты, а также высокая эффективность городского хозяйствования и достойный уровень жизни и условий труда для всех без исключения жителей.

При застройке кластеров и линейных объектов ЭЛГ будут учтены национальные законодательства и требования, предъявляемые непосредственно к элементам возводимой инфраструктуры.

Планировочная организация жилых кластеров ЭЛГ формируется на основе комплексной застройки, в которую входят:

- жилая застройка с надлежащими объектами социальной инфраструктуры;
- пешеходные улицы и общественные центры;
- элементы природно-экологического каркаса (парки, скверы, бульвары и иные территории общего пользования).





Жилая застройка ЭЛГ формируется из самодостаточных гармонично спроектированных единиц. Основной характеристикой каждой из них является высокое качество жизненной среды. Воздух, вода, почва, а также флора и фауна не подвергаются угнетающему или разрушающему воздействию. Для Живой Природы оставлена большая часть территории (свыше 90 %), в том числе на эксплуатируемых крышах зданий и сооружений.

Жилой кластер линейного города представлен доминантным сооружением (пересадочным узлом), в котором разместятся станции и вокзалы транспорта «второго уровня» ЮСТ и совмещённые с ними торговые центры, отели и другие социокультурные объекты. Вокруг, в пешей доступности на площади порядка 100–200 га, будут сооружены одноэтажные и малоэтажные жилые дома для 2000–5000 и более жителей, обеспеченных всем необходимым (включая пищу, воду, энергию и доступ к полному набору современных услуг), а также работой и отдыхом. Подобная целостность даст возможность поселению самодостаточно функционировать даже в условиях пандемий, временной изоляции или стихийных бедствий.

Индустриальные кластеры линейного города расположатся в стороне от жилых кластеров. Сообщение внутри данных комплексов предполагается пешим или велосипедным – такое поселение можно пересечь за 15–20 мин. Транспортную доступность обеспечат несколько видов эстакадного электрического беспилотного рельсового транспорта ЮСТ: городского (скорость до 150 км/ч), высокоскоростного (до 360 км/ч), ультраскоростного (до 600 км/ч) и гиперскоростного (более 600 км/ч) – для кластерных, континентальных и межконтинентальных дистанций, в том числе через моря и океаны.

Жилые дома-квартиры будут сблокированы в единые функциональные комплексы в логике многоквартирного «горизонтального небоскрёба», имеющего длину до 400–500 м и более. Крыши домов выполнены в виде застеклённых теплиц или оранжерей; по торцам «горизонтального небоскрёба» оборудованы технические помещения, установлены грузовые лифты.

Биотехнологии, разрабатываемые под руководством инженера Анатолия Юницкого, предусматривают безотходные процессы выращивания и потребления продуктов питания. По завершении сельскохозяйственного цикла вместо отходов получается биологический гумус, который возвращается в почву в виде органических удобрений, как это и было в течение миллионов лет, – в новый биологический цикл в том же самом месте. Кластер обеспечен собственными генерирующими мощностями, включёнными в единую энергосистему [9–11].

Научные эксперименты в рамках экоориентированных технологий по направлениям EcoHouse и uEnergy успешно реализуются в ЭкоТехноПарке и экопарке «Акварель» (г. Марьина Горка, Беларусь). Там уже построены и эксплуатируются несколько типов подобных инновационных зданий и сооружений, в том числе с субтропической оранжереей и садом внутри дома, созданным по принципу автономно-замкнутой природной экосистемы.

Данный принцип естественным образом адаптирует застройку к любым географическим условиям и природно-климатическим особенностям местности. Он применим и в горной части экваториальной зоны. Ряды сблокированных домов размещаются на организованных террасах и принимают форму, соответствующую рельефу. Транспортные комплексы «второго уровня» снимают ограничения, свойственные горным поверхностям (например, перепад рельефа), и не препятствуют доступу к объектам. Инженерные коридоры выпрямляются и значительно снижают протяжённость основных коммуникаций. Ранее труднодоступные территории становятся привлекательными и удобными для жизни.

Ко времени создания ЭЛГ, построения ОТС со всей геокосмической инфраструктурой и начала практической индустриализации ближнего космоса население Земли составит около 10 млрд человек. Вместе с тем общая протяжённость сети вновь возведённых линейных городов по всей планете достигнет приблизительно 10 млн км и займёт условную площадь порядка 10 млн км^2, или 1/15 земной суши (условную потому, что дороги и здания не отнимут землю у природы, а, наоборот, добавят плодородную почву на крыши сооружений). Это означает, что 14/15 сухопутной части планеты могут быть к тому моменту отнесены к заповедникам и природным резервациям.

Восстановленный БиоМир Земли и «реабилитирующая терапия»

Устранение антропогенного угнетающего воздействия на биосферу путём выноса экологически вредных отраслей и предприятий в космос на околоземные орбиты, а также преобразование необходимой человеку техносферы с помощью экоориентированных технологий – основа для восстановления БиоМира Земли. Однако, учитывая, что здоровью биосферы – плодородию почв, водным экосистемам и атмосфере – нанесён практически непоправимый ущерб, а природные процессы протекают достаточно медленно, для быстрого восстановления понадобится интенсивная «реабилитирующая терапия», которая может быть проведена с помощью элементов программы «ЭкоМир».

Для восстановления почвенных покровов в рамках программы «ЭкоМир» уже созданы и проходят апробацию экоориентированные технологии uGreen, позволяющие производить биогумус на основе бурого угля, сланцев, торфа и отходов их сжигания на специально оборудованных теплоэлектростанциях. Бурый уголь, горючие сланцы и торф – это бывшие растения, жившие порядка 100 млн лет назад и взявшие из реликтовой почвы минералы для своей жизни (более 80 химических элементов), поэтому весь этот минеральный состав (100 % продуктов горения) необходимо возвратить в почву, превратив его в биогумус. Следовательно, отходы работы такой электростанции – живой гумус, 1,5–2 % которого достаточно, чтобы значительно повысить плодородие почв и снова сделать плодородными даже деградировавшие земли (в том числе песок пустынь). Используя биогумус, можно превратить в цветущие сады самые пустынные и безжизненные территории планеты. Так, с помощью технологии uGreen озеленён участок пустыни в Центре испытаний и сертификации uSky (г. Шарджа, ОАЭ), а на бывшем танковом полигоне (г. Марьина Горка, Беларусь), пропитанном порохом и соляркой, посажены сады и виноградники.

Важнейшая задача спасения биосферы Земли – сохранение её биоразнообразия, а также защита биоразнообразия социально-экономически ценных для человечества растений: плодово-ягодных, зерновых, овощных, текстильных, пряноароматических, лекарственных и др. [12]. Так как большое количество растительного сырья в настоящее время транспортируется из тропических стран, экоориентированные технологические платформы «ЭкоКосмоДом» и uGreen предполагают моделирование среды, максимально близкой именно к тропическому и субтропическому поясам [8–11]. Это позволит собирать урожай несколько раз в год, обеспечивая здоровой пищей и комфортными условиями проживания и труда сотрудников предприятий космической индустрии. Как известно, один из путей сохранения и восстановления редких видов растений – создание ботанических садов. ЭКД-Земля может стать новым и гораздо более эффективным инструментом поддержания растительного, водного, микробиологического и иного биоразнообразия на нашей планете.

Геокосмический транспортно-инфраструктурный комплекс ОТС в режиме дозагрузки должен брать в каждый полёт тысячи тонн балласта (вода и жидкий кислород), что поможет восстанавливать и регулировать общее содержание озона, кислорода и влаги в верхних слоях атмосферы, в том числе их концентрацию на определённых участках атмосферного пространства. В свою очередь, это позволит управлять погодой и климатом как на всех континентах, так и локально, причём природными, а не техногенными методами. В частности, на озон приходится только одна десятимиллионная часть массы атмосферы, но он поглощает около 3 % солнечной энергии, падающей на Землю, т. е. мощность этого «теплового одеяла» планеты составляет около 6 трлн кВт [13], что, например, в 3000 раз больше мощности всех электростанций на планете.

Соответственно, изменяя состав озонового слоя, можно эффективно и быстро влиять на состояние следующих компонентов земной биосферы:

1) атмосферы (скорость и направление ветров, осадки, влажность, температура и др.);

2) земной суши (восстановление лесов, плодородия почвы, устранение эрозии почвы и рукотворных пустынь и др.);

3) Мирового океана (марикультура, регулирование экологического баланса, управление морскими течениями и др.);

4) погоды и климата в отдельных регионах и на планете в целом;

5) ионосферы, геомагнитного поля и др.

Всё перечисленное позволит поддерживать биосферу Земли в состоянии экологического баланса. Координирование световых, тепловых и других агрономических параметров радикально поднимет продуктивность органического сельскохозяйственного производства на планете. Важно, что такое вмешательство в «кухню» погоды – экологически чистое, так как озон не является чужеродным для атмосферы и, естественно, для её озонового слоя.

Таким образом, перевооружение (перезагрузка) земной индустрии на космический вектор цивилизационного развития с использованием упомянутых выше и вновь разрабатываемых экоориентированных технологий будет означать, что программа «ЭкоМир» станет продвигаться к своим целям и задачам уже на самых ранних этапах подготовки к индустриализации ближнего космоса.

Космическое индустриальное ожерелье «Орбита» и ЭкоКосмоДом

Будущая космическая индустрия должна быть расположена максимально близко к конечным потребителям – миллиардам человек, живущим на Земле, и, следовательно, к поверхности планеты. Это упростит, ускорит и удешевит геокосмическую логистику. Так как космическая индустрия

включит в себя огромное множество составных элементов (заводы, цеха, лаборатории, технологические платформы, электростанции, жилые модули и др.), то планируется освоить несколько индустриальных экваториальных орбит, не пересекающихся друг с другом. При этом целесообразно предусмотреть возможность вертикального перехода между смежными орбитами, а значит, все они должны располагаться в единой экваториальной плоскости планеты. Освоение данных орбит энергетически более выгодно, поскольку будет задействована линейная скорость вращения планеты (максимальная на экваторе – 1674 км/ч).

Практическая индустриализация околоземного космического пространства начнётся с первым запуском ОТС. Прежде всего будет создано **космическое индустриальное ожерелье «Орбита» (КИО «Орбита»)** – обслуживающий земное человечество многофункциональный транспортно-инфраструктурный и индустриально-жилой орбитальный комплекс. Представляет собой кольцо кластерного типа, опоясывающее Землю в плоскости экватора на низкой круговой орбите – на высоте порядка 400 км. Общая протяжённость КИО «Орбита» – 42 520 км.

Несмотря на автоматизацию и роботизацию, развёрнутые в космосе, индустрию также должны обслуживать люди, ради которых она и будет создана. Рост населения планеты и развитие производства в космосе приведут к увеличению рабочих мест на орбите. Поскольку в космосе можно построить рекреационные комплексы с уникальными характеристиками, отдельную категорию обитателей орбиты составят туристы и отдыхающие. По этой причине здесь необходимо сооружать **ЭкоКосмоДома (ЭКД)** – жилые поселения нового типа, в которых станут жить, работать, отдыхать, проходить курсы терапии миллионы человек. В ЭКД, рассчитанном на несколько тысяч жителей, будут воспроизведены гравитация и лучшая часть земной биосферы субтропического типа со всеми важными природными факторами: атмосферой, разнообразием ландшафтов, живых организмов, почв, биогеоценозов, водных экосистем и др.

Технологическая платформа «ЭкоКосмоДом» – это проект строительства в космосе сооружений с внутренним обитаемым пространством, изолированным от внешней агрессивной космической среды. В ЭКД будет создана замкнутая экосистема земного типа, включающая искусственно полученную гравитацию, живую плодородную почву, флору и фауну (в том числе микрофлору и микрофауну), атмосферу с регулируемыми параметрами (температура, влажность и др.), для неограниченно длительного, автономного, экокомфортного проживания и деятельности как отдельных людей и их групп, так и многотысячных поселений на экваториальных орбитах планеты, а также в открытом ближнем и дальнем космосе.

Атмосфера будет сформирована в соответствии с земными показателями давления, состава, влажности и температуры. Поскольку организм человека, как и всех животных и растений, получает влагу не только с продуктами питания, но и из воздуха, то влажность атмосферы в космическом доме должна быть оптимальной круглый год (55–60 %), а температура воздуха – придерживаться комфортного диапазона (21–25 °C). При необходимости все параметры атмосферы космического дома можно регулировать в течение как суток, так и года.

В космосе земные сутки и год приобретают другой смысл, ввиду того что ЭКД совершает один оборот вокруг планеты примерно за 1,5 часа, т. е. 16 раз за сутки. Значит, в орбитальном доме нужно искусственное освещение, а сутки и год могут быть оптимизированы и не равняться 24 часам и 365 суткам. Для полноценного развития растений интенсивность света следует держать на уровне более 1000 лк. Свет должен быть:

- качественным. Каждая фаза роста культур нуждается в определённом спектральном составе световых лучей: для развития зелёной массы важен голубоватый свет; для роста корневой системы, а также в период подготовки к цветению – оттенки жёлтого и красного; зеленоватые лучи стимулируют процессы фотосинтеза в листьях с плотной структурой;
- продолжительным. Большинство растений набирают силу и цветут только тогда, когда световой день составляет не менее 14 часов, т. е. летом;
- локальным. Каждому растению при цветении полезно находиться на свету определённый период времени, некоторым, например, не более 8–10 часов в сутки;
- интенсивным. Слабое освещение для растений губительно. Так, светолюбивые виды требуют 100 000 лк, как и у солнечного света.

Источником освещения будет выступать Солнце – с помощью специальных зеркал и линз или через преобразование в электроэнергию.

Обеспечить комфортное проживание человека можно только при максимально полном моделировании биосферы планеты, в том числе всего богатства флоры и фауны, включая почвенный биогеоценоз с тысячами видов микроорганизмов [9–11, 14]. Без здоровой плодородной почвы в космическом доме невозможно создать комфортные и безопасные условия, так как именно живая почва является иммунной системой биосферы.

Биосферный комплекс космического дома должен постоянно вырабатывать кислород, обязательный для дыхания находящихся там людей и животных, производить здоровую пищу и утилизировать в гумус отходы жизнедеятельности всех живых организмов.

Конструктивная часть жилого кластера «ЭкоКосмоДом» может быть представлена пустотелой сферой, цилиндром, тором или их комбинациями диаметром 200–500 м, вращающимися вокруг своей оси. Массивные космические поселения необходимо выполнять спаренными на одной оси. Это позволит осуществить их первоначальную раскрутку и вращение в противоположные стороны с помощью электродвигателей.

В космосе, как и на околоземной орбите, имеются метеоритная и радиационная опасности. Наиболее эффективная защита от этих двух угроз – толстые многослойные преграды, в качестве которых могут выступать находящиеся внутри сооружения пеноматериалы, многометровый слой почвы, а также воздух и вода – грунтовая и поверхностная (в водоёмах). Несущая оболочка космического дома, изготовленная из высокопрочных материалов (к примеру, композитных), с толщиной несущей стенки порядка 5 мм – самая нематериалоёмкая часть ЭКД.

Внутренние жилые и офисные помещения могут размещаться в гондолах – контейнерах ОТС, в которых на орбиту будут доставляться пассажиры или грузы. Данные гондолы герметичны, имеют систему жизнеобеспечения, рассчитаны на избыточное давление, оборудованы люком (дверью). Полная автономность гондол гарантирует их жителям безопасность даже при разгерметизации космического дома в случае попадания крупного метеорита.

На внутренней стороне оболочки, поверх пористой противометеоритной и противорадиационной защиты, будет насыпан слой живой плодородной почвы толщиной не менее 1–2 м, посажены леса, сады, луга со своими биогеоценозами, созданы экосистемы водоёмов с пресной и морской водой. Наклонную часть почвы, ближе к оси вращения, планируется реализовать с горными пейзажами, ручьями и водопадами, предгорными экосистемами. Воздух в космическом доме наполнится запахами цветов и полезными фитонцидами – их благоприятное действие на организм человека не идёт в сравнение ни с какими лекарствами. Шума не будет, только пение птиц и шорох листвы деревьев от лёгкого ветерка.

Утилизация отходов космической индустрии

Любая индустрия, в том числе космическая, функционирует по технологической схеме: на входе – сырьё и энергия, на выходе – продукт (услуга) и промышленные (индустриальные) отходы, образующиеся в результате вычленения из сырья промышленного продукта (услуги). Устранить отходы из технологических процессов, снижающих энтропию (в нарушение второго закона термодинамики), принципиально невозможно. Даже экологически более совершенная жизнь, зародившаяся на планете Земля около 4 млрд лет назад, не смогла избежать этого.

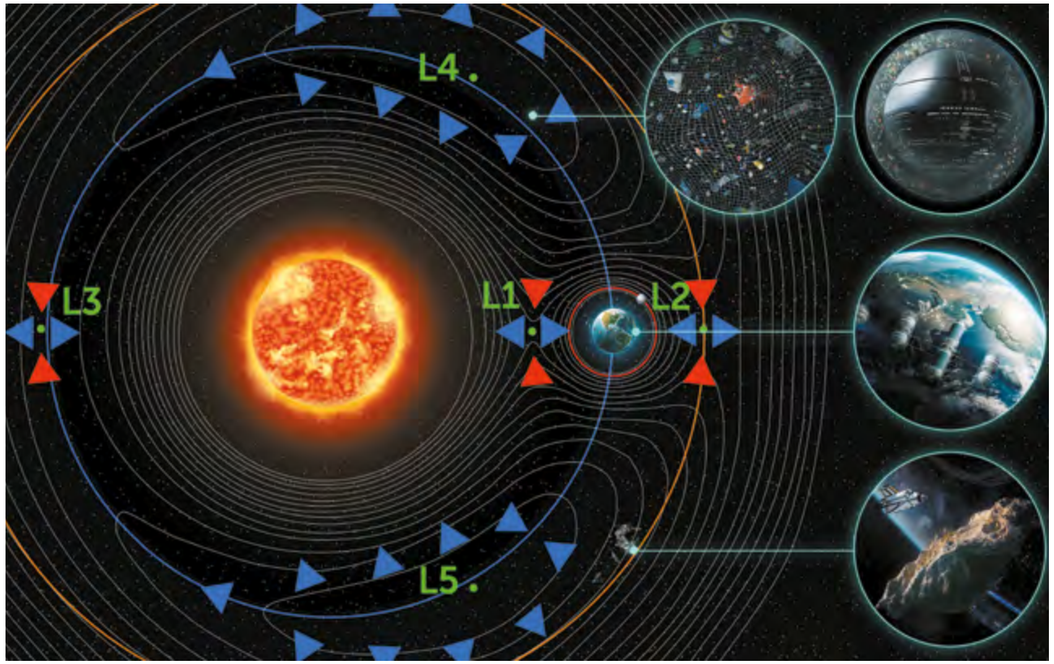
Живые организмы были вынуждены приспособить свои сложнейшие биотехнологические процессы (метаболизм) к образующимся биогенным отходам (в том числе в результате завершения жизненного цикла – после смерти). При этом абсолютно все без исключения отходы стали использоваться в пищевой (биотехнологической) цепочке. Таким образом на планете появилась биосфера – общий дом для миллиардов видов живых существ, полностью построенный на отходах их жизнедеятельности, – кислород в атмосфере и защитный озоновый слой, биогумус, обеспечивающий плодородие почв, и др.

Жизнь на Земле создала биосферу, построенную на биогенных отходах, промышленность в космосе неизбежно создаст аналогичную по масштабам техносферу, построенную на технологических отходах. В связи с этим утилизация отходов индустрии, размещённой в околоземном пространстве в будущем, станет весьма актуальной после ввода в строй ОТС – самонесущего летательного аппарата, способного обеспечить широкомасштабную геокосмическую логистику.

Точки Лагранжа и космическая индустрия

В каждой звёздной системе, в том числе в Солнечной системе, имеются точки Лагранжа (L-точки), или точки либрации (лат. *librātiō* – раскачивание). Это области в системе из двух массивных тел, в которых третье тело с малой массой, не испытывающее воздействия никаких других сил, кроме гравитационных со стороны двух первых тел, может оставаться неподвижным относительно этих тел [15].

В точках Лагранжа практически отсутствует гравитация. Любые космические тела, помещённые в них, будут находиться в равновесном положении в гравитационной яме с чрезвычайно пологими склонами. Объекты, выведенные из такого состояния каким-либо внешним воздействием, «скатываются» обратно в центр этой гравитационной ямы благодаря микрогравитации.





Писатели-фантасты, давно обратившие внимание на точки Лагранжа, размещают в них всевозможные объекты: инопланетные артефакты («Защитник» Ларри Нивена), мусорные свалки («Единение разумов» Чарльза Шеффилда, «Нептунова арфа» Андрея Балабухи) и даже целые планеты («Планета, с которой не возвращаются» Пола Андерсона). Айзек Азимов предложил отправлять в точки Лагранжа радиоактивные отходы («Вид с высоты») [15].

Точки Лагранжа и первый технологический передел

Производство космической продукции, независимо от его размещения в космосе, должно осуществляться не само по себе, а в интересах своих создателей (и потребителей) – землян (в будущем это порядка 10 млрд человек, проживающих на родной планете) [16]. Выселять с Земли на другие планеты, астероиды или в космическое пространство людей, имеющих миллиардолетнюю историю эволюции жизни на Голубой планете, закодированной в материальных единицах наследственности – генах, которые локализованы в хромосомах ядра и ДНК органелл, античеловечно. По нашему мнению, во Вселенной для земного человека ни в настоящее время, ни в отдалённом будущем нет более достойного места для жизни и работы, чем его колыбель – биосфера родной Земли.

С планеты, из её биосферы, необходимо изгнать чуждую ей индустрию (техносферу), созданную человеком, в более подходящую технологическую среду, где есть невесомость и глубокий вакуум, которые отсутствуют на Земле; где имеется практически неограниченный доступ к солнечной энергии и минеральным ресурсам, например, находящимся в главном поясе астероидов между Марсом и Юпитером. Это позволит поднять все существующие сегодня на Земле индустриальные технологии на принципиально новый инженерный и экономический уровень. Так, полностью металлический астероид (16) Психея содержит триллионы тонн самородных металлов (возможно, когда-то он был ядром разрушенной планеты) – железа, никеля, золота, платины, стоимость которых оценивается в сумму, превышающую 10 000 квадриллионов USD [17].

Первый технологический передел по выпуску космических полуфабрикатов рекомендуется разместить в точках Лагранжа системы «Солнце – Земля», в которых можно построить заводы и цеха по производству полуфабрикатов из сырья, доставляемого, например, с астероида Психея. Здесь же будет сосредоточена мощная энергетика с дешёвой солнечной энергией, необходимой для работы энергозатратной космической промышленности первого передела, которую предлагается назвать лагранжевой (по месту расположения). В невесомости можно хранить и образующиеся индустриальные отходы, которые захоронены в зонах, ограждённых плёнкой и/или мелкой сеткой. Эти зоны могут быть выполнены сплошными либо пустотелыми,например в форме полого шара или цилиндра, что легко достижимо в условиях невесомости. Данное космическое захоронение станет противометеоритным барьером для размещённых внутри космических производств. Так, стенка толщиной 10 м, сформированная определённым образом из минеральных отходов, сможет защитить от удара летящего со скоростью 10 км/с метеорита массой до 1 тонны, а толщиной 50 м – до 10 тонн.

Если объём первого передела в будущем превысит 10 млрд т/год космических полуфабрикатов (что существенно превосходит сегодняшний объём аналогичного производства на Земле), то масса промышленных отходов будет примерно в два раза большей – около 20 млрд т/год. Полый шар диаметром 100 км, имеющий толщину стенки 1 км, вместит в себя (для создания своих стенок) около 30 000 км^3 (свыше 50 трлн тонн) промышленных отходов. Такой объём отходов произведёт лагранжева промышленность в течение 2500 лет. Кроме того, стенка толщиной 1 км защитит внутреннее пространство полого шара, сформированного из отходов, от удара метеорита массой до 1000 тонн. Данную защиту необходимо формировать поэтапно, в первую очередь со стороны наиболее вероятных прилётов космических странников.

В зонах Лагранжа системы «Солнце – Земля» предполагается свободное размещение тысяч подобных производственных шаров диаметром 100 км каждый, что обеспечит работу космической промышленности первого передела на миллионы лет вперёд. На начальных этапах такие производства могут быть локализованы и в меньших объёмах, начиная с диаметра шара 100 м и толщины защитной оболочки 1 м.

Важно отметить не только экологичность захоронений промышленных отходов в точках Лагранжа, но и их чрезвычайно высокую энергоэффективность. Так, альтернативное захоронение отходов на Солнце, Луне или в дальнем космосе (например, в поясе астероидов) станет чрезвычайно энергозатратным – на каждую тонну промышленных отходов придётся расходовать энергию, в топливном эквиваленте превышающую тонну бензина. Для перемещения этой же тонны отходов по дну гравитационной ямы, причём в состоянии невесомости (например, из центра 100-километрового полого шара к его стенке), будет достаточно энергии, заключённой и в 1 г бензина.

Кроме того, сброс на Солнце и Луну промышленных отходов, падающих с первой космической скоростью, негативно отразится на поверхности данных небесных тел – вызовет землетрясения (точнее, солнце- и лунотрясения), а также создаст дополнительные «шрамы» на Луне. В то же время не все отходы долетят до поверхности Солнца, не испарившись (это зависит от их массы и габаритов).

КИО «Орбита» и космическая логистика

Полуфабрикат – ещё не изделие, которое всё-таки лучше производить поближе к потребителю (человечеству, живущему на планете), а именно в КИО «Орбита», размещённом на высотах 400–500 км. Здесь также целесообразно выпускать конечную космическую продукцию: химически чистые, высокопрочные и специальные конструкционные материалы и композиты, лекарственные вещества, электронику, машиностроительное и иное оборудование.

Логистика между лагранжевыми производствами и КИО «Орбита», осуществляемая в невесомости по земной орбите вокруг Солнца, будет энергетически малозатратной. Энергозатратной станет только неорбитальная логистика, например полёты к поясу астероидов и обратно, где не обойтись без мощных реактивных двигателей. В зависимости от поставленных задач такие двигатели могут быть совершенно разными – химическими, ионными, электрическими, кинетическими, ядерными, в виде солнечного паруса и др.

В зоне КИО «Орбита» (в силу близости биосферы Земли) двигатели должны быть экологичными в понимании жителей планеты – землян. Например, вода для биосферы и земной жизни не опасна, более того, из неё на 75 % состоит любой живой организм. Значит, с земной орбиты в космос должны стартовать ракеты на химическом топливе – на водородно-кислородных реактивных двигателях, в которых продуктом горения является H_2O. Попутно доставленную с Земли на орбиту воду, находящуюся в балластной системе ОТС, можно разложить с помощью солнечной энергии на H_2 и O_2 и заправить ими топливные баки космических буксиров, собранных здесь же, в КИО «Орбита». Таким образом, в межпланетных путешествиях будет использована солнечная энергия, взятая у светила вне Земли, поэтому подобная логистика не повлияет на экологию нашей планеты и её биосферы.

Промышленные отходы – строительные материалы и источник энергии для Земли

Большинство минеральных промышленных отходов химически инертны и экологически безопасны. После дополнительной термической обработки в вакууме, например путём спекания концентрированным солнечным излучением, легко получаемым в открытом космическом пространстве, такие материалы планируется использовать на Земле в качестве прочных и лёгких (вспененных) строительных элементов – кирпичей, блоков, облицовочных плиток, панелей и др. Часть этих отходов может быть переработана (опять же с использованием солнечной энергии, невесомости и глубокого вакуума) в вяжущие вещества – цемент и его более прочные аналоги. Такая орбитальная строительная продукция обладает по отношению к поверхности планеты высокой энергией – потенциальной и кинетической, которую можно рекуперировать в ОТС в электрическую энергию при его посадке на Землю.

Особенностью функционирования ОТС является то, что его масса с грузом должна быть примерно одинаковой при взлёте и посадке, в противном случае режимы полёта окажутся неоптимальными: либо с большими ускорениями, либо с потерей значительного количества энергии, которую придётся сбрасывать в окружающую среду в виде тепла. Следовательно, необходима балластная система. В качестве балласта на этапе подъёма в космос целесообразно использовать именно воду, которую на орбите можно передать на производство водородно-кислородного топлива для космических буксиров. В качестве обратного балласта ОТС, причём с определённым избытком, нужно взять строительные материалы, полученные в космосе из промышленных отходов.

Каждая избыточная тонна груза, доставленного на Землю, отдаст ОТС энергию, примерно эквивалентную заключённой в тонне нефти. Значит, если ежегодный обратный грузопоток из космоса на планету превысит прямой грузопоток, например, на 1 млрд тонн, то с энергетической точки зрения это эквивалентно добыче на планете 1 млрд тонн нефти. В данном случае промышленный мусор станет экотехнологией «2 в 1»: он будет не только строительным материалом, но и внеземным источником «зелёной» энергии.

Таким образом, на Земле предполагается в будущем прекратить добычу нефти и производство минеральных строительных материалов – не понадобятся нефтяные скважины и карьеры по добыче строительного сырья. Можно оставить только производство органических строительных материалов, веществ и топлива, например деревопереработку и производство спирта из растительного сырья и древесины в качестве экологически чистого топлива, поскольку спирт экологичнее природного газа, который признан всеми как наиболее «зелёное» топливо.





Новые производственные возможности и новое право собственности

Современное человечество имеет все необходимые ресурсы для удовлетворения своих возрастающих потребностей и выполнения пунктов программы «ЭкоМир», обеспечивая себе доступ к богатствам космоса. Однако это требует союза государств и бизнеса, в то время как сложившаяся система права собственности препятствует устранению социального неравенства, что делает неминуемыми разобщённость, вооружённые, информационные и экономические конфликты.

По данным ООН, в 2023 г. «в 59 странах с острой нехваткой продовольствия столкнулись более 20 % населения – каждый пятый человек» [18]. Количество людей, пострадавших от острого голода, оценивается в 281 млн. При этом если на протяжении большей части истории ресурсы добывались и распределялись более-менее равномерно по всей населённой части суши, то сейчас с каждым годом возрастает экономическое неравенство. В 1820 г. соотношение доходов 20 % самого богатого населения и 20 % самого бедного составляло 3 : 1 [19]. В 1991 г. оно выросло до 86 : 1. Согласно докладу Всемирного института исследований экономики развития при Университете ООН, в 2000 г. 1 % самых богатых людей владел 40 % мировых активов [20]. Эта ситуация усугубляется. Доклад о неравенстве в мире за 2022 г. (World Inequality Report 2022), опубликованный Парижской школой экономики как результат четырёхлетнего исследования, показывает, что мир характеризуется очень высоким уровнем неравенства доходов и экстремальным уровнем богатства и что «глобальные уровни неравенства, по-видимому, достигли такого же уровня, какой наблюдался на пике западного империализма в начале XX в.» [21].

На 50 % населения планеты приходится всего 2 % мирового богатства, а 10 % людей владеют 76 % всех известных ценностей [21]. Таким образом, начавшееся в XX в. значительное увеличение производительной мощности цивилизации и количества ценностей в мире не привело к всеобщему благоденствию, однако из-за концентрации сверхбогатств в руках государств и крупного частного капитала значительно усилило экономическое неравенство между людьми и странами, тем самым способствуя росту напряжённости на планете, а также углубляя глобальные кризисные процессы. Инструментом решения этого противоречия должна выступить технологическая платформа, реализация которой изменит структуру собственности и повлечёт необходимость пересмотра системы права с целью устранения неравенства. Такая технологическая платформа предлагается в программе «ЭкоМир» в рамках проектов линейных городов uCity.

Высокая степень автоматизации в жилых и производственных кластерах линейных городов uCity позволит минимизировать количество требуемых для их обслуживания физических и административных ресурсов. Высокоэффективная мобильность станет инструментом освоения отдалённых территорий, снижая искусственно созданную разницу в стоимости земли. Придерживаясь новой логики и с избытком получая всё необходимое для жизни в рамках своего поселения, человек достигнет высочайшей степени автономии, так что роль государств и корпораций неизбежно уменьшится. Человек более не будет принуждён к труду, традиционно выступавшему системообразующим фактором формирования права собственности, поскольку любая собственность основана на труде или, по крайней мере, приобретает ценность только благодаря труду. Изменение системы труда обусловит изменение права собственности.

Создание института права собственности, основанного на труде, в конечном итоге сделает невозможным возникновение крупных субъектов капитала в лице государств и корпораций. Это приведёт к устранению ключевых причин социального неравенства и вытекающих из него конфронтаций. Ограничив сферу экономической субъектности, государства окажутся вынужденными ориентироваться не на обеспечение собственного суверенитета и наращивание экономической мощи, а на реализацию общезначимых в масштабах Земли проектов, включая ОТС.

Таким образом, в рамках программы «ЭкоМир» роль первоначальных ячеек или очагов формирования нового социально-экономического строя выполнят кластеры линейных городов uCity. Логика массового перехода к этой форме организации пространства жизни сообществ не будет принципиально отличной от той логики, которая задала специфику пространственного рассредоточения людей в предшествующие эпохи. Она определяется рядом факторов, среди которых наиболее важны эффективность присущего системе способа производства и транспортная доступность территорий.

Линейные города предполагают пространственную и отраслевую децентрализацию производств. Сельскохозяйственный и энергетический секторы в данной логике должны перейти под управление общинного типа, что создаст предпосылки для реорганизации в сфере услуг, тяжёлой и лёгкой промышленности. Единственная сфера мировой экономики, которая должна продолжать развиваться и управляться централизованно, – это транспорт, поскольку только он требует координации на большом пространстве, тогда как всё прочее, в том числе энергетика, при соответствующей настройке нормативно-правового инструментария может эффективно существовать очагами, пространственно оформленными в территориальных единицах кластерного типа.

Развитие сети высокоскоростных (до 360 км/ч) перевозок обусловит выстраивание эффективных цепочек предоставления услуг, поставок сырья и комплектующих, а также сбыта продукции, которые будут простираться на сотни километров. В наиболее подходящих местах пролегания транспортных сетей планируется расположить кластеры различной специализации – сырьедобывающие, промышленные, научные, культурно-образовательные и др. Место проживания человек сможет выбирать в непосредственной близости к месту работы, а если это в исключительных случаях по каким-то причинам невозможно, то расстояние комфортной транспортной доступности всё равно будет простираться не на десятки (как в современных мегаполисах), а на сотни километров.

Образ и среда жизни в кластерах принципиально отличны от городских и больше напоминают деревенский уклад. Каждый человек сможет жить в естественной и наиболее подходящей для него природной среде, при этом за счёт недорогого, безопасного и экологичного высокоскоростного транспорта иметь доступ ко всем благам современной цивилизации – образованию, культуре, развлечениям, отдыху и др. Такая возможность, безусловно, станет востребованной, так что перспектива массовой деурбанизации на планете, где в городах в ближайшее время будет проживать около 60 % мирового населения, оказывается в рамках программы «ЭкоМир» не только реальной, но и технологически обоснованной.

Переход к новым формам пространственно-регулятивной, а в дальнейшей перспективе и к правовой организации социума может осуществляться двумя основными путями: через государственные программы и посредством реализации отдельных девелоперских проектов за счёт вложений будущих жильцов возводимых кластеров линейных городов. Во втором варианте основным стимулом к приобретению недвижимости нового типа выступит, например, возможность для человека круглогодичного обеспечения здоровой сельскохозяйственной продукцией, а также получения своеобразного пассивного дохода благодаря сбыту её излишков. При усреднённой стоимости жилья в линейном городе uCity менее 1000 USD/м^2 подобный пассивный доход для каждого дома в кластере составит более 10 000 USD/год. Значит, покупатель за десятилетний срок сможет только за счёт этого полностью компенсировать расходы на приобретение жилья и в дальнейшем сделать его долгосрочным источником доходов.

Совершенный ХомоМир – консолидация усилий человечества и неисчерпаемость космических ресурсов

Единое общественно-политическое сознание, общий для всех космический вектор индустриализации, общепланетарная геокосмическая транспортная система, экваториальный линейный город, КИО «Орбита», а также реализация программы «ЭкоМир» совместными усилиями всего человечества – всё это неизбежно приведёт не только к новому космоиндустриальному технологическому укладу с новой экономической парадигмой неисчерпаемых космических ресурсов и возможностей, но и к новому интегрированному общественно-политическому устройству мира.

Вновь созданная космическая индустрия призвана переориентировать техносферу Земли: вредные производства будут вынесены в космос, оставшиеся индустрии – сокращены. Их место займёт экологически чистая промышленность. В первую очередь под сокращение попадут следующие производства:

- традиционная углеводородная энергетика (минимально необходимый объём энергетики на Земле будет представлен преимущественно реликтовой солнечной биоэнергетикой), минеральные отходы которой станут основой для получения биогумуса и решения связанных между собой глобальных проблем современности – продовольственной, голода и опустынивания;
- горнодобывающая промышленность, металлургия, химическая и машиностроительная отрасли;
- другие экологически вредные, энерго- и ресурсоёмкие отрасли.

Всё перечисленное – базисные секторы современной мировой экономики, большая часть которых принадлежит развитым странам мира.

Реализация программы «ЭкоМир» неизбежно приведёт все государства, и в особенности развитые, к замещению существенной части их национальных экономик долями участия в новой высокоэффективной глобальной геокосмической экономике. Политический вес стран при этом будет зависеть от вклада во вновь образованную глобальную экономику, основанную на доступных и неисчерпаемых космических ресурсах.

Экономическая стабильность, гарантированная неиссякаемостью потенциала космоса, позволит учредить новое общество, живущее в комфортных условиях в гармонии с земной природой, усилить развитие науки, творчества, искусства и высвободить ресурсы на эстетическое развитие землян, воспитание детей, формирование и распространение принципов гуманизма, этики и конструктивного сотрудничества.

Организационные аспекты подготовки и создания космической индустрии

Для консолидации всего человечества в рамках полномасштабной реализации программы «ЭкоМир» необходимо, чтобы широкая мировая общественность, политические, научные и бизнес-элиты глубоко осознали неизбежность космического вектора индустриального развития земной техногенной цивилизации, а также оценили преимущества и материальные выгоды данного проекта – самого глобального и экономически перспективного за всю историю человечества.

Для этих целей важно проводить ряд международных мероприятий по продвижению программы «ЭкоМир» среди научных, общественно-политических, экологических и других организаций. К совместным усилиям по развитию программы следует привлекать мировых лидеров мнений, крупнейшие международные блоки и корпорации, национальные отрасли, смежные с космической промышленностью, а также другие стороны, в чьих силах поспособствовать скорейшей реализации программы «ЭкоМир».

Ключевым элементом, определяющим успех данной программы, станет научная школа «ЭкоМир», создание которой уже сейчас ведётся автором программы – инженером Анатолием Юницким. Речь идёт как о переобучении уже состоявшихся учёных и специалистов, так и об обучении молодых кадров – школьников, студентов, аспирантов – широкому спектру научных дисциплин и специальностей. В рамках целенаправленного подбора перспективных кадров, учитывая долгосрочность программы «ЭкоМир», важен поиск и привлечение талантливой молодёжи.

Организационный план реализации программы «ЭкоМир» предполагает три основных этапа.

1. Подготовительный этап.

Срок реализации: 20–25 лет (с 2025 по 2045–2050 гг.).

Цели и задачи:

1) проведение комплекса НИОКТР по направлениям:

- экваториальная взлётно-посадочная эстакада «5 в 1», совмещённая с транспортно-инфраструктурным комплексом ЮСТ;
- инфраструктура, в первую очередь экваториальная: транспортная, логистическая, промышленная, жилая, энергетическая и информационная;
- ОТС;
- КИО «Орбита» – транспортно-инфраструктурный и индустриальный комплекс на орбите, включающий новые космические отрасли: промышленную, энергетическую, информационную и жилую;

2) решение актуальных вопросов биологического, экологического и инженерного характера при создании ЭКД как замкнутой автономной экосистемы биосферного типа для сохранения биоразнообразия планеты Земля и как модели будущего человеческого поселения в космическом пространстве; иные экотехнологии природоохранной направленности для их немедленного применения на планете;

3) подготовка и создание (строительство) на Земле экваториальной взлётно-посадочной эстакады ОТС «5 в 1», совмещённой с транспортно-инфраструктурным комплексом ЮСТ, а также зданий, сооружений, инфраструктуры (промышленные и жилые комплексы, электростанции, в том числе реликтовые солнечные биоэлектростанции, системы управления и связи, линии электропередач и др.);

4) изготовление и монтаж ОТС (протяжённость – 40 076 км; общая масса без полезной нагрузки – около 30 млн тонн в одном из возможных вариантов реализации), пусконаладочные процессы;

5) строительство экваториального линейного города как транспортно-логистического комплекса геокосмической транспортной системы, развёртывание в составе его городской черты экваториальной линейной индустрии как земного компонента космической индустрии. Начало гармонизации техносферы и остальной территории Земли с биосферой путём сокращения техносферы до объёмов, необходимых человечеству, и её перевооружения на основе экоориентированных технологий;

6) организационная подготовка геокосмических полётов, в частности согласование с гражданскими и военно-техническими авиакосмическими ведомствами всех стран мира. Сбор орбитального космического мусора, представляющего угрозу для ОТС и создаваемой космической индустрии. Корректировка правил и международных законодательных актов в области воздушного и морского права. Иное.

Нужно отметить, что на сегодняшний день под руководством Анатолия Юницкого уже работает серьёзная международная инженерная команда, которая на постоянной основе проводит исследование и разработку ключевых узлов ОТС и других элементов программы «ЭкоМир». Ежегодно организуются международные научно-технические конференции по безракетной индустриализации ближнего космоса, где демонстрируются последние достижения по всем направлениям развития программы, а также проходят обсуждения и дискуссии о проблемных аспектах и дальнейших планах. К данным исследованиям проявляют большой интерес представители научных кругов из различных стран мира, таких как Беларусь, Россия, Казахстан, Украина, Великобритания, Канада, Германия, ОАЭ, США и др.

2. Базисная индустриализация космоса.

Срок реализации: 10–15 лет (с 2050 по 2060–2065 гг.).

В течение первых 5–10 лет базисной индустриализации ближнего космоса следует:

1) сформировать вдоль низких экваториальных орбит строительно-монтажные участки, поднять и смонтировать несущие (силовые) и транспортно-коммуникационные компоненты КИО «Орбита», завершив строительство этой опорной конструкции со всей космической транспортной и энергоинформационной инфраструктурой за первых 2–3 года полётов ОТС;

2) параллельно приступить к развёртыванию на орбите солнечных электростанций и в течение первых трёх лет достичь нетто-мощностей, превышающих нетто-мощности энергетики Земли, чтобы обеспечить нужды выстраиваемой в космосе индустрии и выйти на оптовые рынки электроэнергии;

3) начать организацию на орбите ряда установок для получения водорода и кислорода, например методом электролиза соляного раствора (балластная морская вода), а также мощностей для сжижения и хранения водорода и попутно получаемого кислорода;

4) после первого запуска ОТС отправлять заранее подготовленные ещё на Земле горнодобывающие экспедиции на ближайшие астероиды, на которых имеются ценные сырьевые ресурсы. Например, астероид Психея, по некоторым экспертным оценкам, содержит золота и металлов платиновой группы в количестве более 100 млрд тонн минимальной стоимостью 10^{18} (миллион триллионов) USD, а железа и никеля – значительно больше: на сумму 10^{19} USD (в современных ценах);

5) наладить оказание услуг по геокосмическим транспортным перевозкам в адрес прорывных космических проектов. Запустить космические сервисы по сбору космического мусора, обслуживанию действующих спутников, восстановлению озонового слоя планеты. Иное.

В течение второго пятилетия базисной индустриализации ближнего космоса необходимо:

1) поддерживать прежние темпы роста нетто-мощностей солнечно-водородной энергетики, пока не будет достигнута нетто-мощность, превышающая нынешнюю мощность земной индустрии минимум в два раза, в том числе всех силовых установок на каждом виде наземного транспорта, включая автомобили и электромобили. Весь транспорт на планете после этого станет только электрическим;

2) с самого начала периода, используя доставленные с Земли конструкционные материалы, приступить к строительству на опорной и инфраструктурно обеспеченной экваториальной орбите первых нескольких тысяч космических индустриальных кластеров. Затем, уже на их базе, создать космический строительно-промышленный комплекс по производству конструкционных материалов из космического сырья, что позволит перейти к массовому возведению индустриальных кластеров – их в будущем должно быть не менее 40 000 (примерно через каждый километр вдоль орбиты) для последующей широкомасштабной индустриализации космоса;

3) сразу же занять доминирующие позиции на энергетических и сырьевых рынках планеты. Начать сокращение объёма земной техносферы до экологически безопасного уровня, не оказывающего угнетающего антропогенного воздействия на биосферу.

3. Широкомасштабная индустриализация космоса.

Бессрочная, начиная с 2065 г.

Цели и задачи:

1) расширение линейки качественных потребительских и промышленных космических товаров и услуг. Формирование конкурентного космического рынка;

2) подготовка к экспансии земной цивилизации в дальний космос.

Препятствия, угрожающие программе «ЭкоМир», риски и их профилактика

Особенность программы «ЭкоМир» заключается в том, что данный проект является глобальным по масштабу и географии охвата, цивилизационным по глубине и значению преобразований. Воплощение настоящей программы возможно лишь общими усилиями всех стран при участии крупных правительственных и корпоративных инвестиций. Вместе с тем её цели и задачи отвечают интересам не только участников-инвесторов, но и всего человечества. С учётом этих факторов, а также всеохватывающей поддержки со стороны международных институтов власти программа «ЭкоМир» практически не подвержена рискам, связанным с уровнем развития и состоянием экономики, политикой в области налогов и финансов, законодательно-правовой базой и инвестиционной средой, рыночной конъюнктурой и иными условиями хозяйствования в отдельно взятом государстве. Однако программа «ЭкоМир» на своём 40-летнем пути уже встретила немало препятствий, и не меньше преград ей предстоит преодолеть в будущем.

Основные трудности, с которыми программа «ЭкоМир» столкнулась на начальной стадии и продолжает сталкиваться до сих пор, – отсутствие в обществе понимания неизбежности экологической катастрофы при пассивном варианте цивилизационного развития, а также неготовность научных кругов воспринимать масштабные общецивилизационные инновационные технологии. В настоящее время так называемые «научные элиты» по субъективным причинам не желают признавать уникальность целой серии экоориентированных технологических платформ, предложенных учёным, пионером во многих отраслях науки и техники – инженером Юницким.

В будущем велика вероятность, что программе «ЭкоМир» предстоит выдержать натиск «политических элит»: они наверняка не захотят делегировать свои властные полномочия в пользу единого высокотехнологичного и гуманного вектора развития человечества. Это могут быть ракетно-космическое и иные индустриальные лобби, опасающиеся конкурентного противостояния с новой космической индустрией. Все вышеперечисленные «элиты» заинтересованы в сиюминутном успехе, поэтому вряд ли будут поддерживать программу «ЭкоМир», успех которой ощутят не они сами, а всё человечество, причём спустя одно-два поколения.

Устранением этих препятствий станет ориентация на широкую мировую общественность, а также опора на лидеров мнений из науки, инженерии, культуры, искусства и других сфер, чьи человеческие и профессиональные интересы практически не зависят от грядущих преобразований в области техносферы и полностью совпадают с жизнеутверждающими целями и задачами программы «ЭкоМир». И только после завоевания симпатий и поддержки большого числа населения планеты можно рассчитывать на то, что и «элиты», по-прежнему движимые лишь конъюнктурными соображениями, если и не поддержат данную программу, то будут поставлены перед фактом выбора своих последователей, от которых они зависят. Именно тогда они смогут воспринять содержание программы «ЭкоМир» и, примерив на себя все выгоды, приступить к её активной реализации.

Что касается научных рисков, то у Анатолия Юницкого и организованной им команды учёных, инженеров и других специалистов имеются ответы практически на все эти вопросы. Научно-техническая обоснованность проектных и технологических решений по геокосмической транспортной системе не вызывает сомнений. Говоря об ОТС, можно смело утверждать, что основные аспекты технологии хорошо изучены и подтверждены положительными заключениями различных авторитетных экспертов.

Возможность конструкторского воплощения также не нуждается в особых дополнительных аргументах – в настоящее время есть не только вышеуказанные конструкторские разработки, но и многие компоненты геокосмической транспортной экосистемы, уже осуществлённые в промышленных образцах и применяющиеся на Земле. Корректность дальнейших инженерных расчётов и эксплуатационная надёжность произведённого в будущем оборудования – это вопросы правильной организации НИОКТР и контроля качества выпускаемой продукции, которые хорошо отработаны опытом аэрокосмической отрасли. Принимая во внимание масштаб консолидации международных сил, степень рисков подобного рода будет значительно меньшей, чем сейчас.

Если говорить о безопасности полётов, то с учётом глобального характера объединения сил, в том числе потенциала спецслужб и армий стран-участниц, организация безопасности также может быть обеспечена на гораздо более высоком уровне, чем это реально сделать в рамках отдельных государств. Отсутствие негативных экологических последствий гарантировано сущностью программы «ЭкоМир», так как все предлагаемые преобразования подчинены единой логике экоориентированности. Количество ресурсов существующей техносферы оценено: их достаточно, даже если реализацию программы «ЭкоМир» возьмёт на себя только одна из первой пятёрки наиболее развитых стран мира.

Ещё одним препятствием на начальных этапах реализации программы «ЭкоМир» может стать отказ от участия в ней одной, нескольких или всех стран экваториальной полосы Земли, а также выдвижение государствами требований чрезмерно завышенных компенсационных выплат за использование принадлежащих им зон экваториальной полосы. Следующая причина уклонения от участия в программе – опасения обрушения ОТС на их территорию. Профилактика данного риска – информирование руководства и общественности (не только экваториальных регионов) о вероятности аварийной ситуации и мерах ограничения возможных катастрофических последствий; страхование подобных рисков.

Что касается завышения ценовых требований, то этот вопрос не кажется критичным, потому что речь идёт о самой дорогой земле в эру космотехнократической цивилизации. Соответственно, профилактикой риска может быть установление единых стандартов выкупа территорий экваториальной полосы, а также обязательное условие пакетного соглашения одновременно со всеми экваториальными странами, подавляющая часть которых экономически слаборазвита. Для них участие в программе «ЭкоМир» – уникальный шанс поднять свою экономику на уровень самых высокоразвитых государств. Таким образом, любые попытки какой-либо экваториальной державы выдвинуть завышенные ценовые требования под угрозой бойкотирования дальнейшей реализации программы «ЭкоМир» обернутся для неё изоляцией не только со стороны стран – коллег по экваториальной полосе, но и остальных государств.

Если говорить о других, более традиционных рисках, то их существует огромное множество. Нет сомнений, что всеобщий масштаб программы «ЭкоМир» при поддержке международных властей позволит не только провести эффективную профилактику рисков стандартными для инвестиционных проектов методами и средствами, но также избежать большей их части.

Самый высокий риск для человечества, связанный с программой «ЭкоМир», – это потеря драгоценного времени, которого осталось не так уж много, чтобы в полной мере осознать неизбежность космического вектора дальнейшего индустриального развития земной инженерной цивилизации, успеть консолидировать усилия всех стран и как можно скорее приступить к полномасштабной реализации программы «ЭкоМир», призванной не только спасти мир, но и сделать его лучше во всех цивилизационных смыслах [22].

Общность и различия программы «ЭкоМир» и предложенной ООН концепции устойчивого развития

В 1972 г. на конференции ООН, проходившей в г. Стокгольме, международное сообщество признало реальность экологической и ресурсной катастроф. В 1987 г. Генеральная Ассамблея ООН сделала заявление: «Обеспечение устойчивого развития человечества – наиболее значимая проблема, стоящая перед мировым сообществом». В том же году Международная комиссия по окружающей среде и развитию впервые сформулировала определение устойчивого развития как «удовлетворение потребностей нынешнего времени, не подвергая угрозе возможность будущих поколений удовлетворять свои потребности». На Конференции ООН по окружающей среде и развитию, состоявшейся в г. Рио-де-Жанейро в 1992 г., была принята концепция устойчивого развития как результат соединения трёх направлений:

1) экономического. Экономическая эффективность должна оцениваться исходя из долгосрочных перспектив, учитывающих экологические последствия;

2) экологического. Основной целью в области экологии должна стать стабильность физических и экологических систем. Деятельность, которая ведёт к деградации окружающей среды, ставит под угрозу существование всего человечества;

3) социального. Важно осознание социальных проблем и необходимости сохранения культурной и социальной стабильности, а также уменьшения количества конфликтов, несущих разрушения.

За многие десятилетия своего существования концепция устойчивого развития постоянно совершенствовалась. В июле 2014 г. рабочая группа Генеральной Ассамблеи ООН по целям устойчивого развития одобрила документ, содержащий 17 целей, направленных на достижение устойчивого развития [23]:

1) ликвидация нищеты;

2) ликвидация голода;

3) обеспечение здорового образа жизни и содействие благополучию;

4) обеспечение качественного образования;

5) обеспечение гендерного равенства;

6) обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех;

7) обеспечение всеобщего доступа к недорогим современным источникам энергии;

8) содействие поступательному, устойчивому экономическому росту, полной и производительной занятости и достойной работе для всех;

9) создание стойкой инфраструктуры, содействие всеохватной и устойчивой индустриализации и инновациям;

10) сокращение неравенства внутри стран и между ними;

11) обеспечение открытости, безопасности, жизнестойкости и экологической устойчивости городов и населённых пунктов;

12) обеспечение перехода к рациональным моделям потребления и производства;

13) принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями;

14) сохранение и рациональное использование океанов, морей и морских ресурсов;

15) защита и восстановление экосистем суши;

16) содействие построению миролюбивого и открытого общества в интересах устойчивого развития, обеспечение доступа к правосудию;

17) партнёрство в интересах устойчивого развития.

«Защита человеческого достоинства будет лежать в основе моей деятельности...», – отмечает Генеральный секретарь ООН Антониу Гутерриш. Он убеждён, что уникальная международная организация способна решать стоящие перед миром задачи и содействовать успеху в преобразовании общества. Как и его предшественник Пан Ги Мун, г-н Гутерриш считает достижение 17 целей устойчивого развития приоритетной задачей для создания более совершенного мира в интересах всего человечества [24].

В заявлении Генерального секретаря ООН ощущается озабоченность тем, что концепция устойчивого развития, которая носит рекомендательный характер, за многие десятилетия так и не смогла кардинально преобразовать мир к лучшему, а главная проблема антропогенного угнетения биосферы не только не решена, но ещё более обострилась и продолжает усугублять экологическую обстановку на планете.

К сожалению, как показали события последних лет, концепция устойчивого развития при всех её благородных намерениях предлагает сдерживать дальнейший экономический рост и технологическое развитие, а также нести дополнительные затраты на создание и внедрение экологически чистых и ресурсосберегающих технологий. Очевидно, что такие меры ведут к удорожанию жизни, и это является объективным экономическим препятствием к их добровольному широкому применению.

В отличие от остальных земных биологических видов, *Homo sapiens* находит смысл жизни в свободе самовыражения, личностном росте и развитии, в том числе материальном. Насильственное ограничение достигнутого уровня жизни воспринимается как ущемление личностных прав и свобод. Так, связанные с пандемией COVID-19 карантинные мероприятия, временно уменьшившие экономическую активность, вызвали общественный протест.

Более того, искусственное сдерживание роста и сокращение потребления не способны решить проблему загрязнения биосферного пространства Земли и нехватки заключённых в нём минеральных, энергетических и иных ресурсов. Даже если удастся ограничить или существенно сократить потребление, достигнутое краткосрочное снижение будет нивелировано последующим ростом человеческой популяции и техносферы. Известно, что в замкнутой экосистеме чашки Петри популяция плесени, поглотив все имеющиеся ресурсы и заполнив ограниченное пространство отходами своей жизнедеятельности, неизбежно гибнет. Это практически точная копия происходящего с нашей человеческой технократической цивилизацией в биосферном доме Земля и того, к чему мы движемся со всё возрастающей скоростью.

Цивилизационная экспансия: цели и необходимость

Основная цель живых организмов, заложенная генетически, – не потребление, а созидание, переработка простого неживого (мёртвого) вещества в сложное органическое вещество. Поэтому, раз появившись, жизнь не должна исчезнуть, что и заложено на уровне генов в главном инстинкте любого живого организма – в продолжении рода.

Жизнь – молекулы ДНК, живые клетки, ткани, органы и системы любого живого организма – это высшая форма инженерии, в которой Творцом использованы все природные законы и знания о физике (квантовой и релятивисткой) и химии (неорганической и органической), энергетике и материаловедении, проектировании и конструировании (в диапазоне от нанометров до десятков метров, т. е. в размерах от молекул белка и ДНК до динозавра и кита), математике и других наших реальных (а не цифровых виртуальных) микро- и макромирах.

В качестве примера можно привести биохимический метаболизм любой живой клетки любого живого организма в живой земной биосфере. В каждой клетке одномоментно происходят тысячи сложнейших биохимических реакций с тысячами различных органических веществ, в том числе синтез молекул ДНК. Так, в ракете-носителе, являющейся символом совершенства современной инженерии, идёт всего лишь одна простейшая химическая реакция – горение топлива. При этом ракета не может воспроизвести саму себя или хотя бы свою часть, например реактивный двигатель, топливный бак или систему управления, а живая клетка может. Поэтому даже не клетка, а лишь её небольшой структурный элемент – молекула ДНК (она насчитывает десятки и даже сотни миллиардов «деталей» – атомов, структурированных в сложнейшую пространственную конструкцию) – сложнее и совершеннее любой ракеты в миллионы раз, а всей земной индустрии, созданной тысячами поколений инженеров, – в тысячи раз.

В жизнедеятельности клетки задействовано более 80 химических элементов таблицы Менделеева. Там есть свои дороги, мосты, электростанции, цеха, заводы, станки, стапели, технологические линии, интеллектуальные системы управления и др. Значит, земная жизнь – инженерный проект, и её Создатель (неважно, что это или кто это – Ничто, Случай, Высокоразвитая цивилизация или Бог) является, безусловно, выдающимся Космическим Инженером.

Во время сингулярности и последующего Большого взрыва была осуществлена тонкая настройка физических законов Вселенной – «физических генов» её дальнейшего запрограммированного развития. Предназначение такой настройки – зарождение Разумной Жизни, которая, независимо от места своего случайно предопределённого появления, распространится на весь остальной неживой материальный мир Вселенной. Поэтому целью цивилизации, способной выйти за пределы своей планеты, будет не всё увеличивающееся потребление энергии и ресурсов, а расширение Цивилизационного Ареала сначала на соседние звёздные системы, затем на родную галактику и далее на соседние галактики и их скопления.

Реализация программы «ЭкоМир» во всех её аспектах позволит сформировать технические условия для полётов представителей вида *Homo sapiens* на большие расстояния к далёким планетам, где можно основать новые поселения.

При межзвёздных полётах должны соблюдаться физические законы сохранения: массы, энергии, импульса, момента импульса, движения центра масс, запрограммированные в Большом взрыве. Например, межзвёздный космический Ковчег массой 200 000 тонн, разогнанный до скорости 100 км/с, будет иметь чрезвычайно мощную (по современным земным представлениям) энергетику:

- кинетическая энергия: 10^{18} Дж (для сравнения: такую же энергию выделит 21 млн тонн бензина при сжигании в 71 млн тонн окислителя (кислорода), т. е. в 93 млн тонн химического топлива);
- импульс: 2×10^{13} кг · м/с (для сравнения: такой же импульс имеет поезд массой 800 млн тонн, движущийся со скоростью 90 км/ч).

При этом и кинетическую энергию, и импульс необходимо подводить к кораблю во время полёта дважды: на старте (во время разгона в пределах нашей Солнечной системы) и в конце полёта (во время торможения в пределах звёздной системы, экзопланета которой станет конечной целью земной экспансии).

Стартовать целесообразнее с земной орбиты – из точек Лагранжа в системе «Солнце – Земля» [15], где будет создана космическая составляющая земной индустрии и её ресурсная и энергетическая база. Прибывать – также в точки Лагранжа в системе «Звезда – Экзопланета», где инженерному экипажу Ковчега нужно создать промышленную, ресурсную и энергетическую базу для колонизации экзопланеты, которая должна стать для земной жизни (и человека в том числе) вторым домом. Иначе зачем лететь в такую даль космическим Колумбам? Размеры точек Лагранжа (точнее, зон), на самом деле весьма обширны – они простираются на миллионы километров, поэтому там могут быть размещены тысячи астроинженерных объектов различного назначения величиной с планету.

При снаряжении космической миссии необходимо решить множество проблем, как инженерных (проектно-конструкторских, технологических, энергетических, ресурсных, связанных с безопасностью полёта: космическая радиация и пыль, метеоритная опасность и др.), так и социально-биологических. Сколько видов живых организмов из миллиардов существующих на Земле должно полететь и в каком количестве («каждой твари по паре» будет явно недостаточно)? Какой должна быть закрытая экосистема биосферного типа на корабле? Сколько человек и каких специальностей должен иметь экипаж, который сменится несколько сот раз из поколения в поколение, учитывая, что просто многотысячелетним полётом миссия не заканчивается – цель ведь не просто полёт, а колонизация экзопланеты? Как следует организовать закрытый социум, значительно более сложный, чем, например, племена индейцев Амазонки, чтобы не только не деградировать за тысячелетия полёта, но и получить развитие и прогресс, которые и будут реализованы при колонизации экзопланеты?

Ковчег – не просто космический корабль, а величайшее инженерное сооружение, своеобразный биосферный сейф, способный принять на хранение земную жизнь, включая человека, и затем перенести в целости и сохранности на экзопланеты, до которых даже свет летит многие годы. Это возможно только в ЭкоКосмоДоме (ЭКД) – замкнутой экосистеме биосферного типа [25].



ЭКД-Ковчег будет представлять собой не только земную биосферу в миниатюре, но и являться сложнейшим автономно существующим в течение тысяч лет летательным аппаратом со своей энергетикой, двигателями, запасами топлива и исчерпаемых ресурсов (не участвующих в биосферном круговороте), инженерными коммуникациями, ремонтной базой, жилым и производственным фондом, агротехникой, агро- и аквакультурами, флорой, фауной и плодородной почвой, а также социумом с детским садом, школой и университетом, лечебным заведением, рабочими местами с сотней специальностей и др.

Рассмотрим минимальный по размерам и биосферной вместимости Ковчег. Корпус корабля имеет форму тела вращения – веретена (рисунок 1) длиной 500–2000 м и диаметром 200–500 м для экипажа численностью 1000–10 000 человек.

Ковчег имеет три основные зоны.

Зона 1.1 – биосферный (природный) отсек, где нет людей, а есть только не тронутая человеком флора и фауна, сухопутная и водная. Там, в частности, должен вырабатываться основной кислород для биосферных нужд и поглощаться избыток углекислого газа. Например, годовая потребность 1000 человек (включая детей) в кислороде для дыхания в Ковчеге составит около 180 тонн.

Зона 2.1 – жилой отсек и сельскохозяйственная зона – место проживания людей, выращивания органической пищи и хозяйственной деятельности экипажа Ковчега.

Зона 3.1 – производственный отсек, где есть микрогравитация, невесомость (по оси вращения Ковчега), а при необходимости и глубокий вакуум, для чего технологическую вакуумную камеру будет достаточно соединить с окружающим космическим пространством. Здесь размещены производственные и ремонтные цеха, роботизированный станочный парк, энергетическое, научное и иное оборудование.

Примерный состав снаряжённого Ковчега общей массой 200 000 тонн, или 200 т/чел (без топлива и учёта рабочего тела для создания тормозного реактивного импульса):

1) воздух – объём 12 млн м³ (12 000 м³/чел), масса 15 000 тонн (15 т/чел, из них кислорода – 3 т/чел);

2) вода (водоёмы с пресной и морской водой, грунтовая вода, техническая вода) – 25 000 тонн (25 т/чел);

3) плодородная почва (биогумус) + живые организмы (включая флору, фауну и людей) – 45 000 тонн (45 т/чел);

4) несущая конструкция – 25 000 тонн (25 т/чел);

5) специальная защита (от космической радиации и метеоритов) – 35 000 тонн (35 т/чел);

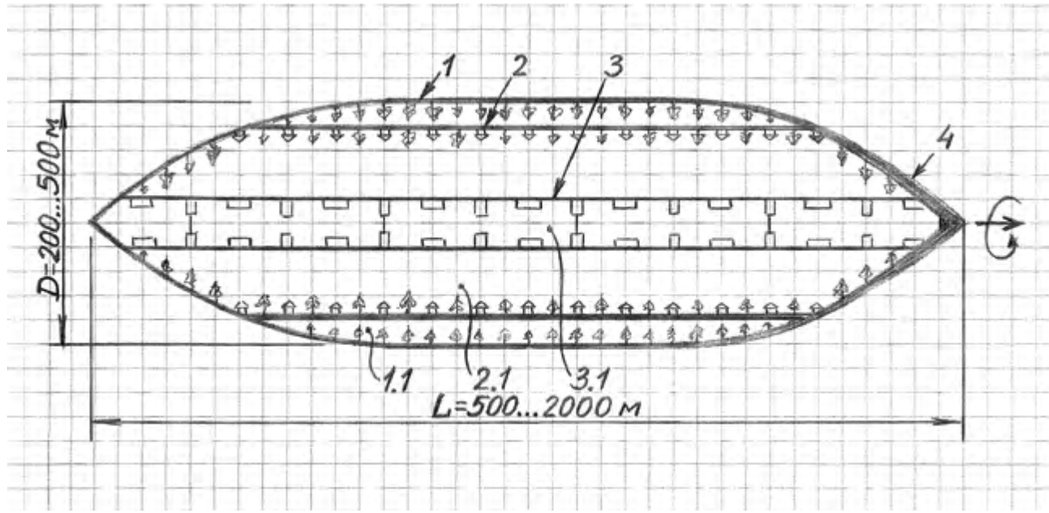


Рисунок 1 – Продольный разрез Ковчега (вариант):
1 – внешняя (защитная) оболочка, 1.1 – биосферный (природный) отсек;
2 – оболочка («пол») жилого отсека, 2.1 – жилой отсек и сельскохозяйственная зона;
3 – оболочка («пол») производственного отсека, 3.1 – производственный отсек; 4 – лобовая бронезащита

6) оборудование (энергетическое, производственное, эксплуатационное, инженерные сети и др.) – 40 000 тонн (40 т/чел);

7) прочее – 15 000 тонн (15 т/чел).

Кроме того, в Ковчеге должен быть запас ядерного топлива (несколько десятков тонн в пересчёте на плутоний-239) и несколько сотен тысяч тонн рабочего тела для создания тормозного импульса у экзопланеты (см. обоснование ниже).

Для получения земного уровня гравитации (ускорение свободного падения 9,8 м/с^2) «веретено» Ковчега ещё на стартовой площадке космодрома следует раскрутить вокруг продольной оси до окружной скорости 31 м/с (один оборот за 20 с). Слой плодородной почвы, достигающий местами метровой толщины, устилающий внутреннюю поверхность такого ЭКД и необходимый для посадки садов и лесов, а также для размещения почвенной биоты – биогеоценоза (основы плодородия любых земных почв), даст дополнительную радиационную и противометеоритную защиту.

Обозначим наиболее чувствительные инженерные проблемы и возможную оптимизацию путей их решения, что особенно важно для обеспечения безопасности межзвёздного путешествия в рамках миссии цивилизационной панспермии.

Защищённость Ковчега не сводится только к безопасности высокоскоростного перемещения в космическом пространстве, полном опасностей: к защите от космического излучения, космической пыли, метеоритов и др. Не менее важно предотвратить и иные угрозы, например сопровождавшие земной этап развития человеческой цивилизации: бунты, диктатуры, революции, войны, пандемии, потребительское (ради удовольствий и денег) отношение к себе, обществу и окружающей среде, а также другие глобальные проблемы в рамках замкнутой экосистемы, которые могут уничтожить не только её саму, но и живущий в ней человеческий социум – цивилизацию в миниатюре. В Ковчеге это необходимо исключить осознанно и на должном уровне: следует обеспечить технологическую и социальную, энергетическую и продовольственную, ресурсную, информационную и другие виды безопасности для инженерного (а не чисто биологического) типа цивилизации, отправившейся в многотысячелетнее путешествие.

Физическая безопасность

Основная проблема физической безопасности в таком длительном полёте – это радиационная и противометеоритная защита. Например, метеорит массой 100 кг, летящий со скоростью 20 км/с, обладает кинетической энергией, равной 2 × 10^8 Дж, что эквивалентно энергии взрыва заряда массой 4800 кг в тротиловом эквиваленте, а со скоростью 100 км/с – уже 120 тонн тротила. Встреча с таким космическим странником может стать фатальной для всей экспедиции.

Вероятность такого столкновения не равна нулю, однако космический Ковчег должен иметь мощную броню из минералов, толщиной несколько метров, особенно в его носовой части. Поскольку для защиты важна не столько масса, сколько толщина, то оболочка корабля должна быть выполнена с облегчённой пористой структурой. Кроме того, такая броня послужит минеральной кладовой, потребность в которой будет неоднократно возникать в течение столь длительного путешествия. Поры могут быть заполнены водой, необходимой не только для функционирования биосферного комплекса Ковчега, но и для защиты от радиации. Более того, вещество брони станет рабочим телом для создания тормозного импульса и гашения скорости Ковчега с межзвёздных до планетарных орбитальных скоростей в конце пути.

Следовательно, минеральные отходы лагранжевой промышленности на земной орбите (т. е. космической индустрии, размещённой в точках Лагранжа в системе «Солнце – Земля») предлагается сразу же формировать (складировать, упаковывать) в форме защитной брони будущего межпланетного корабля. За один год работы такая промышленность способна при необходимости снарядить тысячи подобных космических «Ноевых» Ковчегов для путешествий во многие уголки нашей галактики Млечный Путь.

Энергетическая безопасность

Если на старте можно использовать ресурсы (энергетические и для создания разгонного импульса) космодрома, оборудованного в точке Лагранжа системы «Солнце – Земля», то для торможения в конце пути такие ресурсы нужно иметь с собой – на борту Ковчега. Иначе миссия космической экспансии будет не выполнена – корабль продолжит вечное странствование по Вселенной, пока его не поглотит какая-нибудь чёрная дыра.

Для выполнения межзвёздных перелётов требуется очень высокая скорость (по земным меркам) – даже к ближайшей звезде Проксима Центавра, удалённой от нас на 4,244 светового года, придётся лететь около 12 800 лет со скоростью 100 км/с.

На космодроме необходимо применять ресурсы Солнечной системы для разгона Ковчега, в том числе специальный буксир-челнок, например, аналогичный по функциям первой ступени ракет-носителей. При разгоне космического корабля массой сотни тысяч тонн возможно использовать гравитационный манёвр вокруг планет-гигантов Сатурн и Юпитер, что даст существенное суммарное приращение скорости – до 50 км/с – без дополнительного расхода топлива [26]. Такой же манёвр можно совершить и в конце пути для гашения скорости, естественно, при наличии в пункте назначения планет-гигантов.

Энергетическая составляющая Ковчега должна иметь массу около 340 000 тонн (при общей массе корабля 540 000 тонн), в основном это рабочее тело, в качестве которого целесообразно использовать воду. Она станет резервной для биосферных процессов внутри Ковчега, будет применена для пополнения водоёмов с морской и пресной водой, в инженерных системах охлаждения и нагрева, а также как противометеоритный и противорадиационный экран. Её оптимальное место размещения – внутри пор бронезащиты космического корабля, имеющей среднюю толщину несколько метров. Вода при необходимости легко изымается и возвращается, поэтому может участвовать и в биосферном круговороте в Ковчеге.

Наиболее перспективным для межзвёздных перелётов является ионный двигатель – электрический ракетный двигатель, в котором создаётся реактивная тяга за счёт ионизированного газа, разогнанного в электрическом поле до скоростей 50–210 км/с [27].

В радиусе 10 световых лет от Земли известно 11 звёзд, путешествие к которым со скоростью 200 км/с может занять до 15 000 лет. Масса рабочего тела в данном полёте также составит 340 000 тонн, а количество ядерного топлива (в пересчёте на плутоний-239) на борту для торможения у экзопланеты должно быть в четыре раза выше, чем для скорости 100 км/с, – 21 тонна.

Поскольку мощность ионного двигателя и его тяга крайне низкие, то разгонять и тормозить Ковчег придётся в течение нескольких лет (возможно, и десятилетий).

Основной ежедневной затратой энергии во время тысячелетних перелётов станет стабильное и достаточное по интенсивности и качеству освещение внутренних поверхностей Ковчега, без чего невозможен метаболизм замкнутой экосистемы биосферного типа. Следовательно, освещение, его стабильность и качество во времени – одна из критически важных бортовых энергетических технологий.

Извлекаемые запасы ядерного топлива на Земле – урана-238 (порядка 5 млн тонн) и тория-232 (его в 2,7 раза больше) – имеют суммарную теплотворность примерно в 30 раз выше, чем у всех ископаемых углеводородов (нефть, уголь, газ). Только этого топлива будет достаточно для снаряжения в дальний космос десятков тысяч Ковчегов со скоростью движения 100 км/с или десятков Ковчегов со скоростью 1000 км/с, так как затраты энергии для путешествия со скоростью 1000 км/с будут на два порядка выше, чем со скоростью 100 км/с.

Технологическая безопасность

У человечества нет опыта создания материалов, элементов, узлов, устройств и оборудования со сроком службы, превышающим тысячу лет. В обществе потребления, существующем в настоящее время на Земле, действует противоположный принцип – срок службы должен быть минимальным, чтобы потребитель купил тот же продукт, только слегка модифицированный, и принёс тем самым как можно большую прибыль производителю. Живая Природа устроена совсем по-иному: любая мать, будь то бактерия или человек, рождает ребёнка не для того, чтобы на нём заработать. Именно поэтому в Ковчеге необходимо реализовать инженерные технологии биосферного типа, обладающие функциями самовосстановления («лечения»), воспроизводства (деления технологических «клеток») и другими характеристиками, причём с потенциалом в направлении технологического прогресса (а не регресса), как и в Живой Природе, т. е. с вектором развития в направлении от простого к более сложному.

Инженерные технологии могут работать и в темноте, а вот жизнь не может существовать без света: он нужен флоре и фауне. Значит, в Ковчеге должен быть аналог Солнца. Отметим, что вечных ламп нет. Если освещение отключится, Ковчег погрузится во тьму, и всё живое, кроме простейших, погибнет. Следовательно, производство (и ремонт) вышедшего из строя энергетического оборудования, осветительных приборов на борту и других устройств относится к критически важным технологиям, без реализации которых миссия панспермии станет невозможной.

По прибытии в звёздную систему экзопланеты (в точки Лагранжа, а не на саму экзопланету) понадобятся посадочные модули, способные садиться на планету и возвращаться, выбираясь из её гравитационного колодца, обратно к Ковчегу. Соответственно, такие модули, как и запасы топлива и рабочего тела для них, также необходимо иметь на борту Ковчега.

Маловероятно, что экзопланета будет готова к заселению земными организмами (в частности, её атмосфера, в которой должно быть порядка 20 % кислорода и 80 % инертных газов, безопасных для метаболизма). На корректировку атмосферного состава экзопланеты могут уйти тысячелетия, поэтому экипажу Ковчега, прибывшего с Земли,

следует в первую очередь развернуть в точках Лагранжа системы «Звезда – Экзопланета» космическую индустрию из местного сырья и энергии местной Звезды. И лишь затем начать освоение экзопланеты. Базовые инженерные технологии и оборудование, предназначенные для выполнения миссии, также нужно доставить с Земли на борту Ковчега. Кроме того, добыча сырья с планет Звёздной системы будет слишком энергозатратной, ведь чем массивнее планета, тем сложнее на неё садиться и затем взлетать. Значит, добыча минеральных ресурсов должна осуществляться из местных астероидов и небольших небесных тел.

Биосферная безопасность

Поскольку цель межзвёздных полётов – экспансия человечества и земной жизни в дальний космос, то лететь нужно не в обычном космическом аппарате, а в ЭКД-Ковчеге. В нём на несколько тысяч жителей – небольшом социуме типа сельского поселения – будет воссоздана лучшая часть земной биосферы со всеми необходимыми природными условиями: атмосферой, разнообразием ландшафтов, жилых организмов, почв, биогеоценозов, водных экосистем и др. Будут также обеспечены самые комфортные физические условия: оптимальная гравитация (с помощью центробежных сил), освещённость в естественном спектре, воздушная атмосфера (с оптимальными составом, температурой, давлением, влажностью, содержанием кислорода) и др.

Таким образом, экипаж Ковчега в течение многих тысяч лет, из поколения в поколение, будет находиться внутри замкнутой экосистемы земного биосферного типа, характеризующейся естественным круговоротом веществ и энергии, оптимальным для проживания человека субтропическим климатом. Здесь будет генетически разнообразное «население» – миллионы видов лучших представителей живых организмов, тщательно отобранных из миллиардов (если не триллиона [28]) существующих на Земле видов, взятых из всех царств Живой Природы: бактерий, вирусов, грибов, растений и животных.

Следовательно, в космическом доме необходимо смоделировать в миниатюре биосферу планеты Земля – колыбели человека с историей живой эволюции, насчитывающей миллиарды лет, в том числе предшествующей *Homo sapiens* и записанной в его генах. Надлежит представить во всём многообразии флору и фауну благоприятных для жизни человека климатических зон Земли, откуда мы происходим своими корнями (например, в нашей крови шумит древний океан – её минеральный состав полностью соответствует составу его воды), а также микрофлору и микрофауну – почвенный биогеоценоз с тысячами видов ассоциаций агрономически ценных аэробных и анаэробных микроорганизмов. Такая почва будет более плодородной, чем тучный чернозём, при этом в ней должен трудиться и «инженер плодородия» – земляной червь многих видов в количестве не менее 100 шт/м^2.

Плодородная почва в земной биосфере по своей сути является её иммунной системой и залогом здоровья всех живых организмов, в том числе и человека. В килограмме такой почвы проживает порядка триллиона микроорганизмов. Без неё в Ковчеге невозможно будет создать комфортные и безопасные условия для флоры и фауны, в том числе и для экипажа, а также для микрофлоры и микрофауны в почвенной и водной средах.

В почве начинается и заканчивается пищевая цепочка круговорота биосферного живого вещества. Например, основа иммунной системы человека – микрофлора и микрофауна его кишечника, которая считается почвенной. Там живут десятки триллионов микроорганизмов тысяч видов. Они денно и нощно трудятся – кормят, поят и даже лечат нас. Неспроста многие специалисты называют содержимое нашего кишечника вторым мозгом.

Минеральные (кроме радиоактивных) и органические отходы (в том числе канализационные стоки), образующиеся в Ковчеге, с помощью микроорганизмов перерабатываются в биогумус, который возвращается в почву. Через производство жидкого и рассыпчатого биогумуса и его возврат в почву будет обеспечен круговорот в Ковчеге всех веществ (вода, кислород, CO_2, пища для флоры и фауны, включая человека), необходимых для жизнедеятельности его биосферы, а также утилизация отходов жизнедеятельности всех организмов, в том числе в случае их смерти, и др.

В биосферной части Ковчега (рисунок 1, зона 1.1) должен быть установлен оптимальный гомеостаз на всех уровнях организации сообществ живых организмов с учётом регуляции абиотических и биотических факторов, а также оптимальных биосферных трофических цепей и биологических ритмов. Без этого нереально добиться стабильности ценозов в Ковчеге в течение всего полёта, который может длиться тысячелетиями [29].

Перед отправкой в дальний космос полностью снаряжённый Ковчег необходимо выдержать в карантине в течение одного поколения (20–25 лет) – для более тонкой настройки замкнутой экосистемы биосферного типа и находящегося внутри неё человеческого социума, чтобы выявить и исправить дисбалансы, в том числе отложенные во времени, которых в противном случае невозможно было бы избежать в течение последующего тысячелетнего путешествия.

Продовольственная безопасность

Годовая потребность экипажа, состоящего из 1000 человек, включая детей, в органической пище (крупы, хлеб, бобовые, картофель, овощи и бахчевые, свежие фрукты и ягоды, мясопродукты и рыба, молоко, яйца и др.) – около 700 тонн, или примерно 700 кг/чел. Современные интенсивные агротехнологии позволяют ежегодно выращивать в теплицах, в зависимости от культур, сельскохозяйственную продукцию в количестве 10–50 кг/м^2, что потребует в среднем до 50 м^2/чел посевных площадей.

Органическое земледелие, в том числе питание растений биогумусом (рассыпчатым и жидким), а животных – микрозеленью, выращенной в вертикальных фермах, и хлореллой, выращенной в прудах, потребует в ЭКД-Ковчеге большего количества плодородных угодий (почв и прудов) – порядка 100 м^2/чел, а с учётом потребности в пище сельскохозяйственных животных и аквакультур – около 150 м^2/чел. Ещё 50 м^2/чел необходимо для зон отдыха, прогулочных дорожек, детских площадок и других общественных мест. Таким образом, площадь жилой зоны 2.1 в Ковчеге (рисунок 1) должна составлять примерно 200 000 м^2.

Все «горизонтальные» поверхности в жилой зоне, включая эксплуатируемые крыши жилых помещений и сельскохозяйственных ферм, должны быть заняты плодородной почвой и участвовать в биосферных процессах, в том числе в выработке кислорода и поглощении CO_2, а также в производстве органической пищи. Многоярусность размещения почв в вертикальных фермах Ковчега обеспечит не менее 500 м^2/чел продуцирующих почв, из которых около 10 % необходимо на производство кислорода (с учётом использования хлореллы), 50 % – для выращивания растительной пищи, 40 % – для животной пищи [29].

Ресурсная безопасность

Внутри Ковчега должен быть организован круговорот ресурсов (веществ), кроме энергетических: они теряются безвозвратно и переходят в тепловую энергию, которая в конечном итоге излучается в космос. Потери вещества, как неорганического, так и органического, следует минимизировать. Например, нецелесообразно хоронить в космосе усопших: невозвратные биосферные потери в органическом веществе за тысячи лет путешествия могут составить в этом случае десятки тысяч тонн.

Живое (биосферное) вещество в Ковчеге – это преимущественно плодородная почва, составленная из биогумуса, т. е. нерастворимых солей гуминовых кислот, со всем необходимым набором макро-, микро- и ультрамикроэлементов и ассоциаций из тысяч видов агрономически ценных почвенных аэробных и анаэробных микроорганизмов, вступающих в сложнейший симбиоз с произрастающей на этой почве флорой. Без них, как и без земляного червя, любая самая плодородная почва становится мёртвой.

В Ковчеге должно быть достаточное количество биогумуса: исходя из минимального расчёта – не менее 10 т/чел. Со временем его количество, как и в земной биосфере, может увеличиваться за счёт перехода части неорганического вещества Ковчега в органическое. Биогумус нужен не только для обеспечения плодородия; он, устилающий внутреннюю поверхность Ковчега, станет дополнительной защитой от космической радиации и метеоритных угроз.

Материалы и технологические (мёртвые) вещества будут представлены главным образом в виде воды, преимущественно в качестве рабочего тела для получения тормозного импульса у экзопланеты. Например, в одном из вариантов исполнения масса рабочего тела должна равняться 340 000 тонн при начальной снаряжённой массе Ковчега 540 000 тонн, т. е. масса Ковчега после торможения в звёздной системе экзопланеты составит 200 000 тонн.

Дополнительные запасы углерода (основной химический элемент в клетках живых организмов), а также макро-, микро- и ультрамикроэлементов будут сосредоточены (кроме биогумуса почв) в тысячах тонн бурого угля, ведь в него входит сбалансированная минеральная составляющая древних земных живых организмов (более 80 химических элементов), живших на Земле сотни миллионов лет назад, и энергия древнего Солнца, которую можно дополнительно использовать в генерации энергии на борту Ковчега.

По прибытии к экзопланете потребность в энергетических и минеральных ресурсах должна закрываться энергией Звезды и ресурсами местных астероидов и малых небесных тел, поскольку такая космическая добывающая промышленность, создаваемая с нуля, будет менее энергозатратной и более эффективной, чем любая аналогичная планетарная индустрия. Так, глубина гравитационного колодца планеты, аналогичной Земле, превышает 6000 км (при условно неизменной величине гравитации, а не с реально уменьшающейся гравитацией по мере удаления от центра планеты), поэтому добывать ресурсы в «шахте» такой глубины и доставлять их на «поверхность» (в данном случае в ближний космос) нецелесообразно. Проще добывать ресурсы открытым способом на поверхности,

т. е. в ближнем космосе на местных астероидах для расположенной там же панспермической космической индустрии.

При этом основным энергетическим ресурсом для миссии космической панспермии станут ядерные и термоядерные материалы нашей Вселенной, а не, например, звёздная (солнечная) энергия, как полагает большинство исследователей.

Социальная безопасность

Каким должен быть человеческий социум в Ковчеге? Очевидно, что ни один из известных нам социальных укладов – первобытно-общинный, рабовладельческий, феодальный, капиталистический, социалистический или коммунистический – не подходит для межзвёздных перелётов в ограниченной популяции, находящейся в ограниченном по размерам и ресурсам замкнутом пространстве (чем это не социальная чашка Петри?).

Все известные социальные формы и уклады тем или иным образом строились вокруг различных видов плотского потребления. Особенно опасна для устойчивого развития доминирующая в сегодняшней земной цивилизации капиталистическая форма социального устройства. Капитализм в стремлении к прибыли, максимизации потребления всего и вся и доминированию в глобальном управлении неизбежно приводит к крайностям: разрушению семьи, личности и других основополагающих общечеловеческих жизненных ценностей. Восьмимиллиардное земное человечество – цивилизационное достижение, а не трагическая ошибка, как это хотят преподнести нам, землянам, капиталистические ультраглобалисты, проповедующие идею «золотого миллиарда». Именно извращённое представление общества потребления о человеческой физиологии влечёт за собой ЛГБТ, смену пола и даже каннибализм, что делает подобный социум нежизнеспособным и становится причиной его гибели, причём в краткосрочной (по историческим меркам) перспективе.

В космическом Ковчеге необходимо не только генетическое разнообразие миллионов видов живых организмов, но и требуются специалисты многих профессий одного разумного вида, снарядившего такую сложнейшую в исполнении и функционировании экспедицию – *Homo sapiens*.

ЭКД-Ковчег представляет собой земную биосферу в миниатюре и является сложнейшим автономно существующим в течение тысяч лет летательным аппаратом со всеми цивилизационными достижениями: своей энергетикой, двигателями, запасами топлива и исчерпаемых ресурсов (не участвующих в биосферном круговороте), инженерными коммуникациями, ремонтной базой, жилым и производственным фондом, агротехникой, агро- и аквакультурами, детским садом, школой и университетом, лечебными и сервисными заведениями и др. То есть в Ковчеге будут необходимы высококвалифицированные специалисты не менее 100 направлений, причём не только во время старта, но и после многотысячелетнего путешествия.

Устойчивый социум, как, например, и малые племенные народы и этносы, пронёсшие через тысячелетия свои обычаи, традиции, культуру, образ хозяйствования и другие национальные особенности, насчитывает не менее 1000–2000 человек. В Ковчеге, в отличие от племени, где для управления достаточно вождя, жреца или шамана, должны присутствовать все цивилизационные достижения современного человечества: наука (исследовательские лаборатории и проектно-конструкторские бюро), образование (дошкольное, школьное и высшее), искусство, спорт, медицина, производство (промышленное, ремонтно-восстановительное и сельскохозяйственное) и др. Социум Ковчега должен быть устойчивым, способным к саморазвитию и совершенствованию, и при этом не религиозным, а разумно инженерным. Возможно, наилучшая организационная форма социума – в виде русских общин или еврейских кибуцев.

Такой социум должен иметь свой устав (конституцию, законодательство), которому нужно чётко следовать тысячи лет полёта, где всё, абсолютно всё, продумано оптимально, с ювелирно выполненной тонкой настройкой: физической, социальной, духовной и нравственной. Например, при средней продолжительности жизни 100 лет и населении 1000 жителей за 10 000 лет умрут 100 000 человек, однако Ковчег при этом не должен превратиться в сплошное кладбище. Значит, необходимы свои обычаи, ритуалы и законы в похоронном деле. Кроме того, важно долголетие каждого человека и его способность заботиться о собственном здоровье, поэтому при формировании экипажа Ковчега нужно в том числе отдавать предпочтение людям, генетически, духовно и нравственно предрасположенным к долгожительству.

Социум – это особый общественный организм, который также должен быть оптимизирован с помощью социальной инженерии. Его необходимо не перенести с материнской планеты, а создать в Ковчеге в наилучшем виде с нуля. На самом деле все общественно-экономические формации на Земле построил не человек разумный (инженер), а шаман, жрец, политик, полководец, чиновник, бизнесмен – им важнее не развитие социума как такового, а использование его для усиления собственной власти, личного богатства и процветания.

Земная социальная инженерия – например, язык общения (информационная инженерия), 10 заповедей Божьих (социальная инженерия), 12 положений «Морального кодекса строителя коммунизма» (идеологическая инженерия) и др. – направлена скорее на сохранение социума, чем на его развитие. И даже указанный кодекс строителя коммунизма, за основу которого взяты религиозные заповеди, – это строительство очередного процветающего «улья» или «муравейника», но никак не воспитание социально ориентированного разумного жителя космического дома по имени Планета Земля [16, 22].

В Ковчеге необходимо сохранять баланс – развитие закрытого социума не должно быть направлено против него же (например, должны отсутствовать преступность, терроризм, наркомания и др.). Что «хорошо» и что «плохо» для социума, на самом деле давно прописано в религиозных заповедях (возможно, внеземными разумными цивилизациями, посещавшими Землю) – в тех же 10 заповедях христианства [30], которые можно свести к определённым постулатам: «Через Слово Божье и участие в богослужениях Церкви организовать свою жизнь: семья, работа, интересы, увлечения, отношения с людьми, отношение к жизни во всех её проявлениях – всё организовывается и устраивается через заповеди Божьи. Борьба с греховными привычками и страстями. Традиционные семейные ценности...» [31].

Информационная безопасность

После того как будет отправлен первый Ковчег, через определённый промежуток времени (например, через год) от Земли отправится второй Ковчег с тем расчётом, чтобы в пункт назначения он прибыл одновременно с первым, т. е. он должен двигаться с несколько большей скоростью. При этом в Ковчеге-2 будут устранены недоработки Ковчега-1, ставшие известными в процессе радиообмена, и внесены важные дополнения и улучшения, полученные в результате прогресса земного человечества за прошедший год. Таким образом, к экзопланете в конечном итоге отправится вереница из тысяч Ковчегов. Это обеспечит успешность миссии на этапе сверхдлительного путешествия, так как при постоянном радиообмене поступит актуальная информация и осуществится взаимовыручка, а в случае необходимости к терпящему бедствие космолёту из ближайшего Ковчега (впереди или сзади летящего) на физическую выручку отправится челнок, которым будет снабжён каждый Ковчег (такой челнок нужен и для посадки на экзопланету).

Следовательно, места назначения достигнут одновременно все Ковчеги с общим населением в миллионы человек, с земной технологической мощью, без чего невозможна колонизация экзопланеты. Космические корабли во время путешествия будут находиться в пределах радиовидимости, в том числе со своей родной планетой, поэтому им будут известны любые нюансы технологического, нравственного и духовного развития материнской цивилизации. Во время движения каравана Ковчегам благодаря радиосвязи друг с другом и материнской земной цивилизацией станет доступна вся актуальная информация, необходимая для прогресса миссии.

Искусственный интеллект (ИИ) станет важной составляющей космической панспермии и будет слугой, а не хозяином этой миссии. ИИ – всего лишь машина по обработке и генерации информации, значит, он должен выполнять в социуме Ковчега функцию, которую осуществляет подсознание в организме человека. На подсознание возложено управление всеми системами, органами, тканями и клетками человеческого тела (а их около 50 трлн!), поскольку сознание не способно обработать такое количество информации. И как подсознание управляется сознанием, так и ИИ в Ковчеге должен управляться коллективным разумом социума, сложенного из личностей экипажа межзвёздного корабля.

Перспективы цивилизационной панспермии

Несколько миллиардов атомов (десятки типов химических элементов с триллионами связей между ними) миллиарды лет назад собрались в сложную пространственную структуру, т. е. в молекулу ДНК (а те, в свою очередь, в клетки), – так появилась жизнь. Десятки миллиардов нейронов объединились в мозг, обросли триллионами связей – так появился разум и интеллект. Миллиарды человек собрались в общепланетарный социум (с триллионами триллионов связей между ними) – так появилась инженерная цивилизация. И не нужно искусственно уменьшать количество людей, живущих на планете, это будет примерно такое же «благо» для человека, как и обоснование уменьшения количества нервных клеток в его мозге, например до их количества в мозге хомячка (приблизительно в тысячу раз меньше).

Соответственно, именно цивилизационная панспермия – вектор цивилизационного развития внеземных инженерных цивилизаций. Сформировавшись на одной из планет, Инженерный Разум просто обязан распространить себя на всю доступную мёртвую часть Вселенной, сделав её живой. Там хватит места и ресурсов для триллиона триллионов разумных существ, но никак не машин, в том числе искусственного интеллекта.

Программа «ЭкоМир» открывает перспективы для цивилизационной панспермии жителям Земли: решая грандиозные и отдалённые задачи, она отвечает на те вызовы, перед которыми стоит общество сейчас. Шаг за шагом,

реализуя технологические и социально-экономические трансформации, предлагаемые программой «ЭкоМир», мы приближаемся к процветанию, гораздо более светлому и долгому, чем все мечты человечества, озвученные до сих пор.

Заключение

Мы, нынешнее поколение жителей Земли, получили нашу планету не в наследство от предков, а взяли её в долг у своих потомков. Этот долг мы обязаны вернуть, иначе лишим себя будущего – земная техногенная человеческая цивилизация просто исчезнет с лица Земли.

Не вызывает сомнения, что в ходе реализации программы «ЭкоМир» необходимо будет справиться с большим количеством трудностей, причём не только инженерно-технических. Однако все они ничтожны по сравнению с теми проблемами и жизненными угрозами, которые неизбежно наступят, если человечество не начнёт предпринимать срочные действия уже сейчас.

Автор программы «ЭкоМир» инженер Анатолий Юницкий создал единую стройную концепцию Нового мира и наполнил её всеобъемлющими идеями стремительного экономического роста и индустриального прогресса земной техногенной цивилизации.

Программа «ЭкоМир» описывает экономически выгодные и всесторонне обоснованные инженерно-технические и социально-экономические решения, призванные спасти человечество от деградации, угасания и гибели.

Анатолий Эдуардович Юницкий, представители его научной школы и последователи выражают заинтересованность в том, чтобы программа «ЭкоМир» стала общечеловеческим достоянием и привела к созданию более совершенного мира, процветающего в экоориентированной логике: «Земля – для жизни. Космос – для индустрии».

Список основных источников

1. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Гомель: Инфотрибо, 1995. – 337 с.: ил.*
2. *Юницкий, А.Э. Программа перезагрузки экономики Союзного государства России и Беларуси на биосферный путь цивилизационного развития / А.Э. Юницкий. – Минск, 2022. – 132 с.: ил.*
3. *Камшилов, М.М. Эволюция биосферы / М.М. Камшилов. – М.: Наука, 1979. – 254 с.*
4. *Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – 240 с.*
5. *Макконнелл, К.Р. Экономикс: принципы, проблемы и политика: учеб.: пер. с англ. / К.Р. Макконнелл, С.Л. Брю, Ш.М. Флинн. – 19-е изд. – М.: ИНФРА-М, 2017. – 1028 с.*
6. *Ванке, В.А. Электроэнергия из космоса – солнечные космические электростанции / В.А. Ванке // Журнал радиоэлектроники. – 2007. – № 12. – С. 7–9.*
7. *Останина, Н.Г. Воздействие ракетно-космической техники на озоновый слой / Н.Г. Останина, М.В. Кубриков // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2012. – № 8. – С. 227–228.*
8. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.*
9. *Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 12 сент. 2020 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии», под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – 516 с.*
10. *Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы IV междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 18 сент. 2021 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии», под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2022. – 388 с.*
11. *Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы V междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 23–24 сент. 2022 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии», под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2023. – 320 с.*
12. *Арнаутова, Е.М. Экспозиция «Тропические плодовые и пряноароматические растения» как пример тематической коллекции в Ботаническом саду Петра Великого / Е.М. Арнаутова, М.А. Ярославцева // Сб. науч. тр. ГНБС. – Ялта, 2018. – Т. 147. – С. 192–194.*
13. *Куликов, К.А. Планета Земля / К.А. Куликов, Н.С. Сидоренков. – М.: Наука, 1977. – 192 с.*
14. *Микрофлора окружающей среды и тела человека: учеб. пособие / Н.В. Литусов [и др.]. – Екатеринбург: Урал. гос. мед. акад., 2008. – 28 с.*
15. *Точки Лагранжа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Точки_Лагранжа. – Дата доступа: 11.06.2024.*
16. *Юницкий, А.Э. Инженерия. Мир как инженерный проект / Анатолий Юницкий. – Минск: СтройМедиаПроект, 2023. – 320 с.*
17. *Астероид Психея [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://elementy.ru/kartinka_dnya/927/Asteroid_Psikheya. – Дата доступа: 03.08.2020.*
18. *В 2023 году голодала пятая часть населения 59 стран мира [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ungeneva.org/ru/news-media/news/2024/04/92805/v-2023-godu-golodala-pyataya-chast-naseleniya-59-stran-mira. – Дата доступа: 12.06.2024.*
19. *Hunt, M. The World Transformed: 1945 to the Present [Electronic resource] / M. Hunt. – Mode of access: https://archive.org/details/worldtransformed0000hunt/page/442/mode/2up. – Date of access: 12.06.2024.*
20. *World's Richest 1 % Own 40 % of All Wealth, UN Report Discovers [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.theguardian.com/money/2006/dec/06/business.internationalnews. – Date of access: 12.06.2024.*
21. *Доклад о неравенстве в мире. 2022 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://wir2022.wid.world/www-site/uploads/2021/12/Summary_WorldInequalityReport2022_Russian.pdf. – Дата доступа: 12.06.2024.*
22. *Юницкий, А.Э. Цивилизационная ёмкость космического дома по имени Планета Земля / Анатолий Юницкий. – Минск, 2021. – 148 с.*
23. *Цели в области устойчивого развития [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/. – Дата доступа: 01.08.2020.*
24. *Генеральный секретарь ООН, Антониу Гутерриш [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/secretary-general/. – Дата доступа: 01.08.2020.*
25. *Юницкий, А.Э. Особенности проектирования жилого космического кластера «ЭкоКосмоДом» – миссия, цели, назначение / А.Э. Юницкий // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 51–57.*
26. *Гравитационный манёвр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Гравитационный_манёвр. – Дата доступа: 12.06.2024.*
27. *Ионный двигатель [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Ионный_двигатель. – Дата доступа: 21.06.2024.*
28. *Подсчитано точное количество живых существ на Земле [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rg.ru/2016/05/04/podschitano-tochnoe-kolichestvo-zhivyh-sushchestv-na-zemle.html. – Дата доступа: 27.06.2024.*
29. *Юницкий, А.Э. Трофические цепи и биологические ритмы как основа создания биосферы ЭкоКосмоДома / А.Э. Юницкий, О.В. Синчук // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 145–151.*
30. *Десять заповедей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Десять_заповедей. – Дата доступа: 30.06.2024.*
31. *Десять заповедей Божьих – как жить по ним сегодня [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rokmp.de/wp-content/uploads/2018/03/Памятка-10-заповедей.pdf. – Дата доступа: 30.06.2024.*

Секция

ГЕОКОСМИЧЕСКИЕ И ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ, ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И РЕСУРСЫ



УДК 303.732.4:504.054+629.786.2

Глобальные экологические проблемы индустриализации околоземного космического пространства

В.Ю. Клюшников
академик
Российской академии
космонавтики
им. К.Э. Циолковского,
доктор технических наук

АО «ЦНИИмаш»,
г. Королёв, Россия

Любая антропогенная деятельность сопряжена с негативными последствиями для окружающей среды. По мере космической экспансии человека расширяются масштабы такого воздействия. Цель данного исследования – прогноз и анализ наиболее существенных экологических проблем, связанных прежде всего с началом индустриализации околоземного космического пространства (ОКП), в число которых входят наличие космического мусора, аэрозольное загрязнение атмосферы, электромагнитное загрязнение ОКП, световое загрязнение ночного небосвода, а также влияние пусков ракет-носителей на земные экосистемы в процессе развёртывания и поддержания космической промышленной инфраструктуры. При этом ОКП рассматривается как часть глобальной экологической системы планеты Земля. В предложенном контексте перечисленные проблемы изучены впервые.

Ключевые слова:
аэрозольный слой, индустриализация околоземного космического пространства, космический мусор, световое загрязнение, экологические проблемы, электромагнитное загрязнение.

UDC 303.732.4:504.054+629.786.2

Global Environmental Problems of Industrialization of Near-Earth Space

V. Klyushnikov
Academician
of the Russian Academy
of Cosmonautics
named after K.E. Tsiolkovsky,
Dr. of Engineering Sciences

TsNIIMash JSC,
Korolev, Russia

Any anthropogenic activity is associated with negative consequences for the environment. As the human space expansion advances, the scale of such impact is expanding. The purpose of this study is to forecast and analyze the most significant environmental problems related primarily to the beginning of industrialization of near-Earth space (NES), including the presence of space debris, aerosol pollution of the atmosphere, electromagnetic pollution of NES, luminous pollution of the night sky as well as the impact of launch vehicles launches on terrestrial ecosystems in the process of deployment and maintenance of space industrial infrastructure. At the same time, NES is considered as a part of the global ecological system of planet Earth. In the proposed context, these problems are studied for the first time.

Keywords:
aerosol layer, electromagnetic pollution, environmental problems, industrialization of near-Earth space, luminous pollution, space debris.

Введение

Околоземное космическое пространство (ОКП) является составной частью глобальной экологической системы планеты Земля. Оснований для такого утверждения по крайней мере два. Во-первых, ближний космос фактически уже стал сферой деятельности человека. Во-вторых, область распространения жизни не ограничивается нижними слоями земной атмосферы. Микроорганизмы (споровые формы бактерий и микромицетов) сохраняют жизнеспособность и в условиях космического пространства. Это доказано путём экспонирования систем «микроорганизмы – субстраты» на внешней оболочке Международной космической станции (МКС) в течение полутора лет [1].

В будущем перенос вредных, опасных и энергоёмких производств в ОКП позволит превратить Землю в цветущий сад. Однако на этом пути необходимо решить целый ряд экологических проблем глобального характера. Их истоки в настоящее время уже обозначены: они обостряются параллельно с достижениями в области космической деятельности.

К экологическим проблемам, непосредственно связанным с индустриализацией ОКП, следует отнести:

- загрязнение ОКП техногенными фрагментами – космическим мусором;
- аэрозольное загрязнение стратосферы и верхних слоёв атмосферы;
- электромагнитное загрязнение ОКП;
- световое загрязнение ночного небосвода;
- воздействие пусков ракет-носителей на земные экосистемы.

Перечисленные виды влияния на глобальную экосистему имеют место и сейчас, но в существенно меньшем масштабе по сравнению с тем, что можно ожидать в будущем, по мере развития космической промышленной инфраструктуры.

Загрязнение околоземного космического пространства техногенными фрагментами

Последние 60 лет количество орбитального мусора увеличивалось в геометрической прогрессии ввиду расширения орбитальной группировки действующих космических аппаратов, из-за остающихся на орбите спутников, прекративших активное функционирование, отработавших ступеней ракет-носителей и разгонных блоков, а также вследствие преднамеренных и случайных взрывов и столкновений различных космических объектов. С развитием космической промышленной инфраструктуры к источникам образования фрагментов космического мусора добавятся орбитальные фабрики и доки для сборки тяжёлых космических кораблей, заправочные орбитальные станции, исследовательские лаборатории и др. Возможность безотходного функционирования подобных объектов вызывает большие сомнения: в качестве опасного космического мусора должны рассматриваться, к примеру, чешуйки отслоившейся термоизоляции или конденсированные замёрзшие частицы газовых выбросов, не говоря уже о нештатных выбросах в космос различных металлических и пластиковых предметов, а тем более о продуктах аварийных ситуаций.

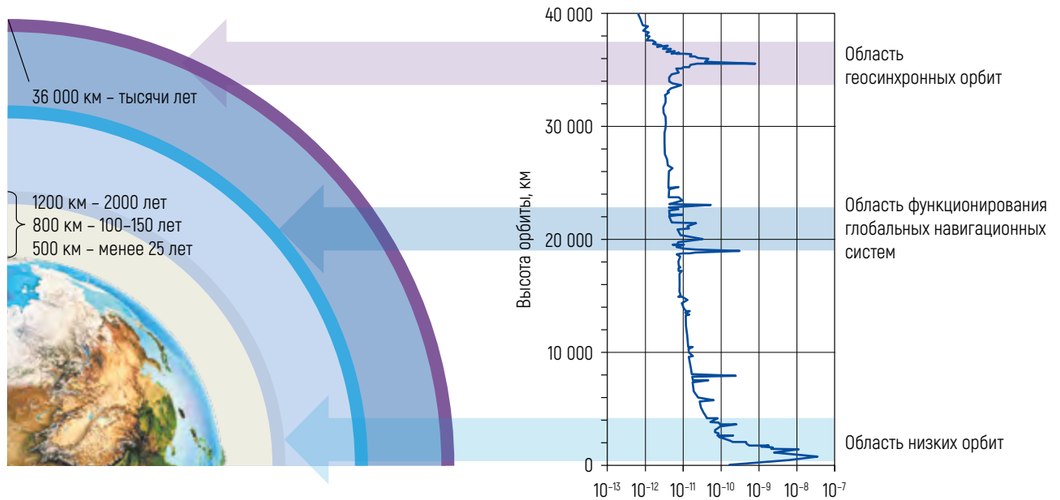
По данным сети космического наблюдения США (United States Space Surveillance Network) и статистического моделирования ЕКА, сегодня на околоземных орбитах находится около 34 000 объектов размером более 1 см, в том числе более 8300 активных спутников, 900 000 объектов от 1 мм до 1 см и более 128 млн объектов менее 1 мм [2, 3].

Время баллистического существования низкоорбитального космического мусора различно и зависит от высоты орбиты. Естественно, чем ближе к атмосфере, тем оно меньше, и наоборот. Время жизни мусора на орбитах от 250 до 550 км составляет, в зависимости от миделя единичного фрагмента, от недель и месяцев до десятков лет (рисунок 1).

С высоты примерно 800 км сопротивление атмосферы ослабевает настолько, что космический мусор может оставаться там от 100–150 до 2000 лет и более (на высоте 1200 км). Время его баллистического существования в области функционирования глобальных навигационных систем (20 000–22 000 км) и на геостационарной орбите (≈36 000 км) составляет уже многие тысячи лет. Однако и пространственная плотность загрязнения этих орбит в десятки и сотни раз меньше, чем низких околоземных.

Для крупногабаритных космических аппаратов, таких как МКС, вероятность столкновения с фрагментом размером более 1 см, способным пробить оболочку станции, сегодня равна 10^{-2}–10^{-3} в течение года полёта[1]. Она считается высокой, поэтому в конструкции модулей МКС использованы специальные многослойные защитные экраны и предусмотрены манёвры уклонения.

[1] Вероятность непробоя – параметр, определяющий вероятность пробоя единицы площади гермооболочки за единицу времени. По соглашению с NASA значение этого параметра выбрано равным 10^{-5} м$^{-2}$·год$^{-1}$ [4].



Время баллистического существования космического мусора

Плотность распределения космического мусора, км$^{-3}$

Рисунок 1 – Зависимость времени баллистического существования и плотности потоков космического мусора от высоты орбиты

Что касается автоматических космических аппаратов, то для них может стать фатальной встреча с частицей мусора даже миллиметрового размера, не говоря уже о более крупных фрагментах (энергия орбитального столкновения с частицей размером 1 мм составляет 1 кДж, что эквивалентно энергии шара для боулинга, брошенного со скоростью 100 км/ч).

В будущем не исключена ситуация, когда цепная реакция разрастания популяции космического мусора сделает использование ОКП невозможным: любой объект, выведенный на орбиту, практически сразу столкнётся с фрагментом мусора.

Гипотеза о каскадном саморазмножении космического мусора при взаимных столкновениях обломков впервые выдвинута консультантом NASA Д. Кесслером в 1978 г. [5] и получила название эффекта (синдрома) Кесслера.

Информация, полученная в процессе моделирования, проводимого NASA и семью космическими агентствами – членами Межагентского координационного комитета по космическому мусору, указывает на то, что даже при полном прекращении космической деятельности засорённость околоземных орбит в ближайшие годы будет возрастать [6].

На сегодняшний день существует множество попыток определения момента наступления синдрома Кесслера на основе различных моделей и сценариев образования космического мусора. Результаты такого прогноза варьируются от отрицания возможности каскадного эффекта до заключения о его наступлении уже сейчас на некоторых орбитах, по крайней мере в среде мелкой ненаблюдаемой фракции космического мусора.

Экстраполяция текущих темпов роста загрязнения ОКП приводит к нестабильной ситуации с экспоненциально возрастающей частотой столкновений (рисунок 2).

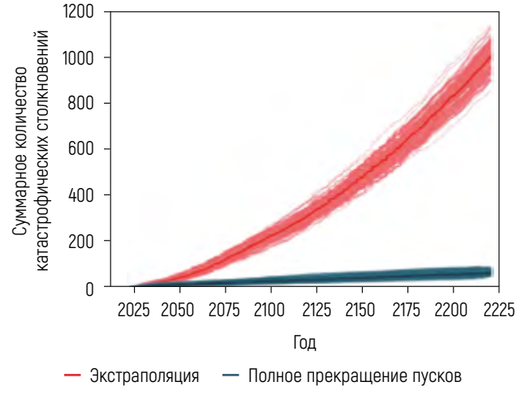


Рисунок 2 – Прогноз частоты столкновений на основе модели LEOIADC с учётом принятых сценариев долгосрочного развития космической деятельности [7]

Одним из основных принципов предотвращения образования космического мусора является удаление космических объектов, прекративших активное существование, из защищаемых областей ОКП – низких околоземных и геостационарных орбит, где отсутствует естественный механизм самоочищения. Однако 20–40 % спутников, окончивших функционирование в течение последнего десятилетия, не способны самостоятельно сойти с низких околоземных орбит [8]. На геостационарных орбитах для подобных объектов предусмотрены мероприятия по их уводу с точек стояния. При этом вероятность успешного увода составляет 0,6–0,9 % [8].

Как уже было сказано, относительно синдрома Кесслера имеются полярные мнения. Так, ошибочность суждения о его неотвратимости заключается в предположении, что все фрагменты космического мусора будут находиться в околоземном пространстве и угрожать столкновением со спутниками и другими фрагментами. Однако кинетическая энергия сталкивающихся тел частично затрачивается на их разрушение, а частично взаимно гасится, в результате чего возникший рой фрагментов оказывается на эллиптических орбитах с высотой перигея внутри атмосферы Земли. Тела на этих орбитах успевают затормозиться и сгореть раньше, чем они испытают ещё одно столкновение.

В то же время известны экспериментальные данные о практическом отсутствии передачи импульса при высокоскоростном столкновении объектов в космосе. Таким образом, кинетическая энергия сталкивающихся тел фактически не уменьшается. А с учётом того, что в области низких орбит ожидается взрывной рост плотности космических объектов – малых космических аппаратов многоспутниковых группировок, а также исходя из вероятности триггерных эффектов, скачкообразно увеличивающих загрязнение ОКП, наступление синдрома Кесслера исключить нельзя. К упомянутым триггерным эффектам следует отнести фрагментацию крупногабаритных космических аппаратов, по разным причинам длительный период остающихся на своих рабочих орбитах.

Сейчас можно выделить около 50 таких объектов. Среди них, к примеру, самый крупный спутник, запущенный Европейским космическим агентством, – Envisat (срок баллистического существования – 150 лет), спутник NASA Quick Scatterometer Earth (будет оставаться на орбите в течение 90 лет) и др.

Контролируемый увод космических объектов, прекращающих активное функционирование, совершается в так называемую Точку Немо – наименее биологически активный регион Мирового океана, находящийся в Тихом океане (48°52′ ю. ш. и 123°23′ з. д.) в 3300 км от восточного побережья Новой Зеландии.

Аэрозольное загрязнение верхних слоёв атмосферы

Аэрозоль в виде жидко-капельных и минеральных твёрдых частиц субмикронного размера встречается как в тропосфере, так и в стратосфере, а также в верхних слоях атмосферы (100 км и более). Для атмосферного аэрозоля характерна сложная слоистая структура [9] (рисунок 3).

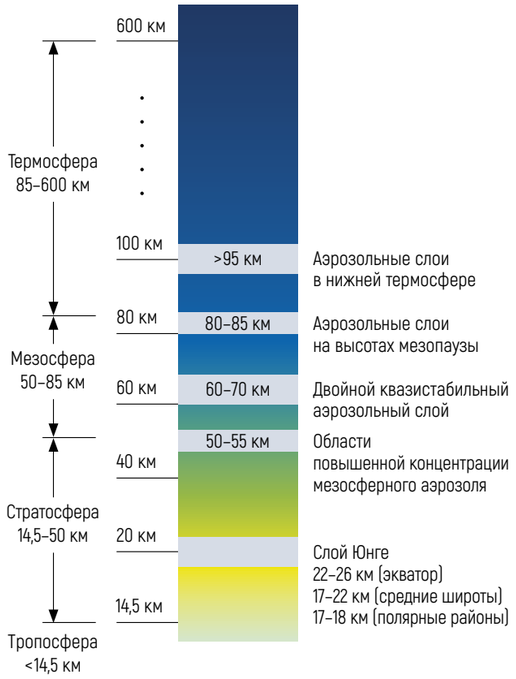


Рисунок 3 – Структура слоёв атмосферного аэрозоля

Аэрозоль в стратосфере имеет сульфатную основу. Он образуется из газов, содержащих серу, причём наиболее распространёнными среди них в атмосфере являются карбонилсульфид и пары серной кислоты [10].

В структуре стратосферного аэрозоля на общем фоновом уровне выделяется относительно стабильный аэрозольный слой Юнге, максимум концентрации частиц в котором соответствует высотам 22–26 км в экваториальном поясе, 17–22 км в средних широтах, снижаясь параллельно тропопаузе до 17–18 км в полярных районах. Слой образован каплями раствора серной кислоты высокой концентрации. Подпитку слоя Юнге в настоящее время осуществляют извержения больших вулканов при окислении диоксида серы, составляющего значительную часть вулканических газов [11].

На высотах 50–55 км на фоновом уровне выделяются области повышенной концентрации мезосферного аэрозоля. Мощность этого слоя увеличивается в периоды частых вулканических извержений. На высотах 60–70 км имеет место двойной квазистабильный аэрозольный слой. Устойчивые аэрозольные слои наблюдаются на высотах мезопаузы 80–85 км. В периоды после прохождения метеорных потоков отмечается появление аэрозольных слоёв в нижней термосфере (выше 95 км) [12].

Среди источников образования атмосферного аэрозоля всё более заметную роль играют разрушающиеся в атмосфере искусственные космические объекты, в частности низкоорбитальные малые космические аппараты. В первую очередь речь идёт о глобальной многоспутниковой системе Starlink, которая будет насчитывать в своём составе десятки тысяч таких устройств. В мире ведутся проектные проработки примерно двух десятков перспективных многоспутниковых группировок. Прогнозируется, что к исходу текущего десятилетия на низких околоземных орбитах может оказаться свыше 57 000 малых космических аппаратов [12]. В будущем к источникам образования аэрозолей станут относиться объекты и технологии космической промышленной инфраструктуры.

Согласно [13] уже сейчас в стратосферных частицах серной кислоты содержатся литий, алюминий, медь, свинец и другие элементы в соотношениях, характерных для сплавов, использующихся в конструкционных материалах космических аппаратов, и в количествах, превышающих приток в земную атмосферу космической пыли этих металлов (рисунок 4).

Запланированное увеличение количества спутников на низкой околоземной орбите в течение следующих нескольких десятилетий может привести к тому, что до половины стратосферных частиц серной кислоты будут содержать металлы, образовавшиеся при входе в атмосферу.

По данным [13], аэрозольные частицы с повышенной концентрацией алюминия от элементов конструкции космических аппаратов имеют не менее 70 % от общего количества алюминия, обнаруженного в стратосферных частицах. Поток алюминия от метеороидов оценивается в 130 т/год, из которых около 20 т/год уносится потоком – аблируется. Около 210 т/год алюминиевых аблятов образуется из космического мусора (космические аппараты, ступени ракет), входящего в атмосферу.

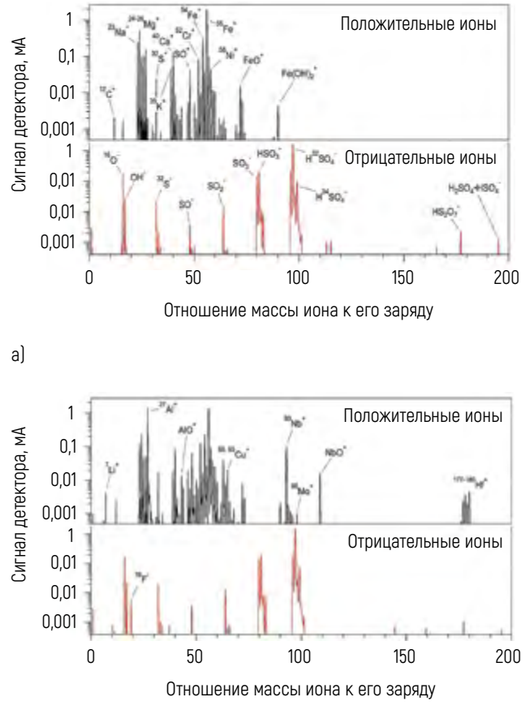


Рисунок 4 – Спектры, характерные
для типичных частиц серной кислоты, содержащих:
а – метеорные металлы;
б – метеорные металлы и металлы,
полученные при входе в атмосферу космического корабля,
включая ниобий и гафний
(отмечены только пики,
которые значительно усилены) [13]

Накопление аэрозоля в атмосфере способно вызывать различного рода метеорологические и климатические эффекты:

- воздействие на процессы облако- и осадкообразования за счёт изменения микроструктуры облачных частиц;
- влияние на процессы переноса солнечной и тепловой радиации в атмосфере и тем самым на температурный режим климатической системы Земли.

При этом в зависимости от свойств аэрозолей, структуры и динамики аэрозольных слоёв последствия указанных эффектов могут существенно варьироваться – от засухи до резкого похолодания [14].

Электромагнитное загрязнение околоземного космического пространства

В настоящее время электромагнитное загрязнение носит глобальный характер, причём на электромагнитную обстановку в ОКП значительное влияние оказывают наземные линии электропередач (ЛЭП) (рисунок 5) [15].

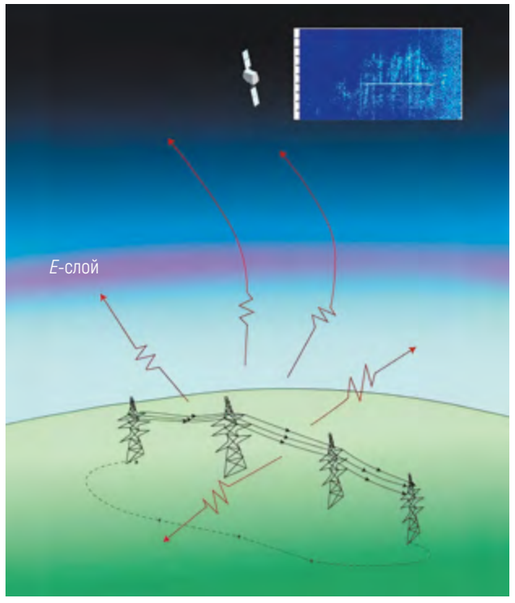


Рисунок 5 – Процесс появления излучения наземных ЛЭП в ионосфере и вариации (шумы) электрического поля от наземных ЛЭП на высоте орбиты спутника

Так, наблюдения спутников «Чибис-М» и DEMETER позволили зарегистрировать спектральную амплитуду излучения наземных ЛЭП в пределах 1–18 (мкВ/м)/Гц, что соответствует амплитуде электрического поля $E \approx 1$ мкВ/м. На сегодняшний день интенсивность излучения ЛЭП на частотах 50–60 Гц в околоземном пространстве оказывается выше, чем интенсивность природных излучений в этом диапазоне (шумановские резонансы и ионные свисты), и продолжает нарастать по мере технологического развития человечества.

Что касается помех в ОКП (электромагнитный шум от космических объектов), то пока это имеет значение только для радиоастрономии. В частности, в июле 2023 г. радиотелескопом Low Frequency Array (LOFAR) обнаружено шумовое радиоизлучение на относительно низких частотах (110–188 МГц) от спутников Starlink компании SpaceX [16][2]. Зафиксированы несколько узкополосных излучений, а также широкополосные излучения во всём указанном диапазоне. Источником непреднамеренных искусственных помех являются излучения бортовых радиоэлектронных средств и электрооборудования космических аппаратов.

С увеличением количества космических аппаратов в многоспутниковой группировке электромагнитное загрязнение ОКП возрастёт, поскольку излучения от всех спутников суммируются [16]. По мере развития производственной инфраструктуры в ближнем космосе и усиления электромагнитного загрязнения отдельные космические аппараты, орбитальные производственные модули и многоспутниковые группировки будут создавать помехи друг другу, а также воздействовать на ионосферу.

Проникая в ионосферу и магнитосферу, электромагнитное загрязнение способно вызывать изменение степени ионизации околоземной среды, что в свою очередь может влиять на качество радиосвязи [17]. Ионосфера – открытая нелинейная динамическая система. Высокая степень её ионизации и гетерогенность строения обуславливают нелинейность проявления в ней различных физических, химических и фотохимических процессов [18].

Неравновесность и нелинейность ионосферы способствуют локализации электромагнитной энергии в виде пространственно-временных структур, нарушающих, в частности, работу космических систем навигации и передачи данных.

Достаточно мощные электромагнитные воздействия как снизу (радио, телевидение, радиолокация, пуски ракет, мощные взрывы и др.), так и сверху (объекты космической промышленной инфраструктуры) нарушают стационарность ионосферы, что приводит к нелинейным эффектам, предсказать которые в настоящее время не представляется возможным.

Световое загрязнение ночного небосвода

В связи с развёртыванием многоспутниковых орбитальных группировок относительно недавно возникла проблема световых помех для астрономических наблюдений [19]. Существует даже мнение, что астрономия оказалась у критической черты, которую уже сейчас создали спутники Starlink. «Спутники могут мешать наземным наблюдениям, увеличивая сложность дифференциации искусственных спутников и естественных объектов, таких как астероиды и кометы», – предупреждают в NASA [19].

Дело в том, что в сумеречное время солнечные лучи отражаются от поверхности плоских фазированных антенн спутников Starlink, в результате чего на исходных изображениях звёздного неба появляются световые треки. Свечение от отдельно взятого космического аппарата Starlink составляет от третьей до седьмой звёздной величины (рисунок 6) [19].

SpaceX пошла навстречу астрономам и уже больше трёх лет запускает спутники, яркость которых снижена примерно в 4,6 раза (точное значение зависит от длин волн, которые фиксирует оборудование) за счёт:

- специального покрытия для плоских антенн с фазированными решётками – технология DarkSat;
- установки специального козырька, защищающего антенны от солнечных лучей, – технология VisorSat.

Следует заметить, что общее количество космических аппаратов в многоспутниковых группировках, принадлежащих разным операторам, а также число отказавших устройств в будущем возрастёт. Вероятно, не все операторы согласятся принимать указанные выше меры или аналогичные им.

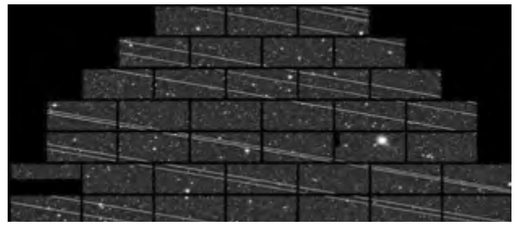
Однако более серьёзное световое загрязнение ночного небосвода будет иметь место в случае развёртывания системы орбитального освещения отдельных участков земной поверхности [20]. К сожалению, подобные проекты до сих пор существуют (рисунок 7) [21].

Световое загрязнение является формой физического загрязнения окружающей среды, способной привести к различного рода физиологическим нарушениям у растений и животных и даже к разрушению экологических систем за счёт изменения конкурентных взаимодействий и отношений «хищник – жертва» [22]. В результате исследований установлено, что световое загрязнение местоположений пресных водоёмов нарушает питание зоопланктона, что вызывает цветение воды и в перспективе заболачивание местности [23].

Влияние света на человека в ночное время, сбои циркадианных ритмов (десинхронозы) рассматриваются как один из ведущих факторов, обуславливающих нарушение гомеостаза организма [24]. Последствиями десинхроноза могут быть снижение умственной и физической работоспособности, инсомния, депрессия и расстройство пищеварения [25].



а)



б)

Рисунок 6 – Световое загрязнение ночного небосвода:
а – спутники Starlink, снятые над Нидерландами;
б – спутники Starlink на мозаике астрономического изображения (Национальная исследовательская лаборатория оптико-инфракрасной астрономии – NOIRLab)

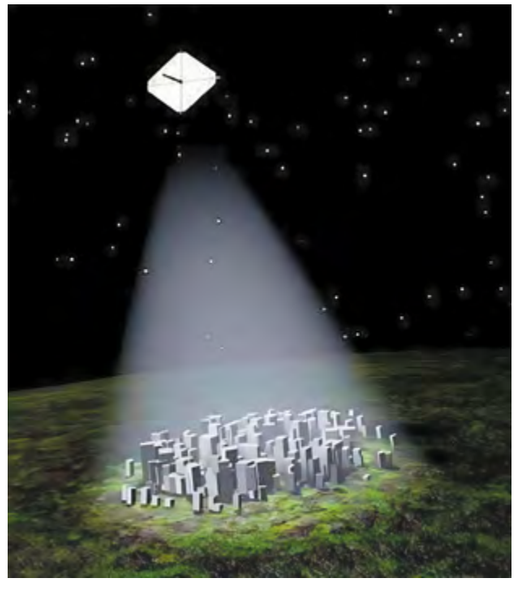


Рисунок 7 – Спутник-осветитель

[2] Для широкополосного доступа в интернет Starlink использует диапазон 10,7–12,7 ГГц.

Имеются неподтверждённые данные Международного агентства по изучению рака (IARC) о канцерогенном эффекте, возникающем при труде в ночную смену (канцероген группы 2А) [26]. Наконец, световое загрязнение разрушает нитратные радикалы, препятствуя естественному ночному уменьшению атмосферного смога [27].

В будущем, при развёртывании объектов космической производственной инфраструктуры, необходимы специальные мероприятия и технические решения, предотвращающие световое загрязнение.

Воздействие пусков ракет-носителей на земные экосистемы

Наиболее сложной проблемой индустриализации космоса является выведение на орбиту потока груза, достаточного для создания промышленной инфраструктуры в ОКП. Радикальным решением этой задачи может стать геокосмический летательный аппарат, предложенный в 1982 г. А.Э. Юницким [28], – общепланетарное транспортное средство (ОТС), разработку которого в настоящее время осуществляет ООО «Астроинженерные технологии».

Для обеспечения индустриализации ОКП на начальном этапе, видимо, будут использоваться тяжёлые и, вероятно, сверхтяжёлые многоразовые ракеты-носители с жидкостными двигателями на топливной паре «сжиженный природный газ / сжиженный метан – жидкий кислород». Прообразом такой транспортной системы выступают ракеты-носители компании SpaceX: Falcon 9, Falcon Heavy и Starship (рисунок 8) [29, 30].

Поскольку ракетное топливо в ракетах-носителях перспективной транспортной системы не токсично, а также вследствие того, что не предполагается падение отделяющихся частей (ракетных блоков), воздействие пусков таких ракет на земные экосистемы в основном будет акустическим. Это подтверждает, в частности, экологическая оценка пусков ракет-носителей Starship [31].

Анализ максимального уровня звука в районе расположения стартовой площадки космодрома Бока-Чика (США) при пуске и полёте Starship / Super Heavy показывает, что на расстояниях, превышающих примерно 2,3 мили (≈3,7 км) от стартовой площадки, уровни шума становятся меньше максимально допустимой величины (115 дБА).

Тем не менее в связи с беспрецедентно большим количеством энергии, локально выделяемой при пуске

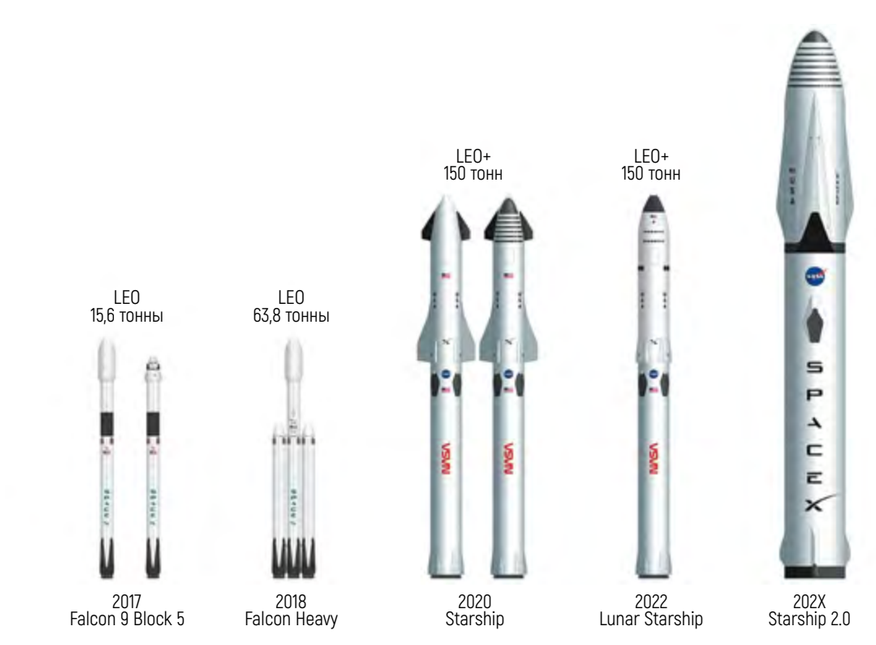


Рисунок 8 – Ракеты-носители компании SpaceX

и в полёте сверхтяжёлого носителя в различных геосферах, в том числе в ионосфере и ОКП, экологически значимым способен стать даже единичный пуск. В [32, 33] сформулирована гипотеза о механизмах возможного инициирования пуском такой ракеты триггерных эффектов в геосредах (геосферах): землетрясений, ураганов, тайфунов и др.

Основные положения данной гипотезы заключаются в следующем [34]:

1) геосреды необходимо рассматривать как нелинейные синергетические системы;

2) при пуске ракет-носителей сверхтяжёлого класса к физическим воздействиям – потенциальным инициаторам катастрофических триггерных эффектов в геосредах – в первую очередь нужно отнести:

- атмосферные выбросы продуктов сгорания компонентов ракетного топлива;
- низкочастотные шумы и вибрации от работающей двигательной установки ракеты-носителя;

3) для инициирования триггерных эффектов требуются дополнительные условия в геосредах, способствующие развитию катастрофических явлений (предварительно накопленное тектоническое напряжение, прогретый влажный воздух в области циклонообразования и др.);

4) триггерный эффект в результате пуска ракеты-носителя сверхтяжёлого класса не фатален: он может иметь место с определённой вероятностью.

Другие экологические последствия пусков (химическое загрязнение природных сред, разрушение озонового слоя, тепловой нагрев и др.), описанные, например, в [35], носят локальный характер, кратковременны и практически не воздействуют на экосистему, в которой расположен космодром.

Заключение

Предварительный анализ глобальных экологических проблем индустриализации ОКП показал:

- такие проблемы станут особенно актуальными в период переходных процессов – в начале индустриализации ОКП; в дальнейшем, при планомерной работе космической промышленной инфраструктуры, многие из них будут решены или станут менее острыми;
- масштабность проблем индустриализации ОКП заключается в выходе того или иного воздействия за пределы какой-то одной геосферы: последствия практически любого вида загрязнения передаются на нижние геосферы, вплоть до земной поверхности (литосферы);
- результаты воздействия на окружающую среду (глобальную экосистему) процессов индустриализации ОКП невозможно предсказать однозначно вследствие диссипативности и нелинейности свойств земных геосфер (геосред); в настоящее время можно лишь указать общие тенденции, способные привести к ухудшению экологической ситуации на планете Земля.

Приведённые в статье аналитические выкладки могут рассматриваться в качестве ориентира для предотвращения и разрешения экологических проблем индустриализации ОКП по мере создания космической промышленной инфраструктуры.

Список основных источников

1. *Исследования мелкодисперсной среды на внешней поверхности Международной космической станции в эксперименте «Тест»: обнаружены жизнеспособные микробиологические объекты / О.С. Цыганков [и др.] // Космическая техника и технологии. – 2015. – № 1 (8). – С. 31–41.*
2. *Eberle, C. Technical Report: Space Debris [Electronic resource] / C. Eberle, Z. Sebesvari. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/375015087_Technical_Report_Space_debris. – Date of access: 16.06.2024.*
3. *ESA's Annual Space Environment Report [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.sdo.esoc.esa.int/environment_report/Space_Environment_Report_latest.pdf. – Date of access: 16.06.2024.*
4. *Основные направления и результаты работ по защите российского сегмента МКС от метеороидов и космического мусора / А.В. Марков [и др.] // Космическая техника и технологии. – 2018. – № 4 (23). – С. 16–28.*
5. *Kessler, D.J. Collision Frequency of Artificial Satellites: The Creation of a Debris Belt / D.J. Kessler, G.B. Cour-Palais // Journal of Geophysical Research. – 1978. – Vol. 83, iss. A6. – P. 2637–2646.*
6. *Исследования, касающиеся космического мусора, безопасного использования космических объектов с ядерными источниками энергии на борту и проблем их столкновений с космическим мусором [Электронный ресурс]: Записка Секретариата Комитета по использованию космического пространства в мирных целях, Вена, 11–22 февр. 2019 г.: A/AC.105/C.1/115 / Организация*

Объединённых Наций. – Режим доступа: https://documents.un.org/doc/undoc/gen/v18/076/85/pdf/v1807685.pdf. – Дата доступа: 16.06.2024.

7. *ESA's Annual Space Environment Report 2021. – Darmstadt: ESA Space Debris Office, 2021. – 106 p.*
8. *IADC Space Debris Mitigation Guidelines: IADC-02-01 Rev. 3. – 2021. – 15 p.*
9. *Исмаилов, Ф. Атмосферный аэрозоль [Электронный ресурс] / Ф. Исмаилов. – Режим доступа: https://aem.az/uploads/files/2023-05/1685478551_1679997402_smailov-fazil-kniqa-1.pdf. – Дата доступа: 17.06.2024.*
10. *The Stratospheric Aerosol Layer / ed. R.C. Whitten. – Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 1982. – 152 p. – (Topics in Current Physics; vol. 28).*
11. *Береснев, С.А. Физика атмосферных аэрозолей: курс лекций / С.А. Береснев, В.И. Грязин. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2008. – 227 с.*
12. *Impact of Climate Change on the Future Chemical Composition of the Global Troposphere / G.P. Brasseur [et al.] // Journal of Climate. – 2006. – Vol. 19, No. 16. – P. 3932–3951.*
13. *Metals from Spacecraft Reentry in Stratospheric Aerosol Particles [Electronic resource] / D.M. Murphy [et al.] // PNAS. – 2023. – Vol. 120, No. 43. – Mode of access: https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2313374120. – Date of access: 16.06.2024.*
14. *Гинзбург, А.С. Влияние естественных и антропогенных аэрозолей на глобальный и региональный климат / А.С. Гинзбург, Д.П. Губанова, В.М. Минашкин // Российский химический журнал (Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева). – 2008. – Т. LII, № 5. – С. 112–119.*
15. *Электромагнитное загрязнение околоземного космического пространства излучением ЛЭП / В.А. Пилипенко [и др.] // Солнечно-земная физика. – 2021. – Т. 7, № 3. – С. 111–119.*
16. *Foust, J. Radio Noise from Satellite Constellations Could Interfere with Astronomers [Electronic resource] / J. Foust. – Mode of access: https://spacenews.com/radio-noise-from-satellite-constellations-could-interfere-with-astronomers/. – Date of access: 14.06.2024.*
17. *Nikoghosyan, E.H. Ecology of Near-Earth Space / E.H. Nikoghosyan // Communications of the Byurakan Astrophysical Observatory. – 2017. – Vol. 64, iss. 1. – P. 126–135.*
18. *Летников, Ф.А. Синергетика природных и техногенных воздействий человека / Ф.А. Летников // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2008. – № 1. – С. 117–152.*
19. *Impact of Satellite Constellations on Optical Astronomy and Recommendations Toward Mitigations / C. Walker [et al.]. – Tucson: NSF's NOIRLab, 2019. – 22 p.*
20. *Старовойтов, Е.И. Проблемы реализации систем орбитального освещения земной поверхности / Е.И. Старовойтов, М.Н. Поклад // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2017. – № 5 (65). – С. 1–11.*
21. *Фролова, О. Спутник-осветитель: сможет ли Китай реализовать то, что не удалось сделать России [Электронный ресурс] / О. Фролова. – Режим доступа: https://travelask.ru/blog/posts/14049-sputnik-osvetitel-smozhet-li-kitay-realizovat-to-chto-ne-uda. – Дата доступа: 11.08.2024.*
22. *Effects of Artificial Night Lighting on Amphibians and Reptiles in Urban Environments / G. Perry [et al.] // Urban Herpetology / eds J.C. Mitchell, R.E.J. Brown. – Salt Lake City: Society for the Study of Amphibians and Reptiles, 2008. – P. 211–228.*
23. *Kimberly, D.M. In Defense of Wild Night / D.M. Kimberly // Ethics, Policy and Environment. – 2022. – Vol. 25, iss. 2. – P. 153–177.*
24. *Nelson, R.J. Dark Matters: Effects of Light at Night on Metabolism / R.J. Nelson, S. Chbeir // Proceedings of the Nutrition Society. – 2018. – Vol. 77, iss. 3. – P. 223–229.*
25. *Broussard, J.L. Disturbances of Sleep and Circadian Rhythms: Novel Risk Factors for Obesity // Current Opinion in Endocrinology & Diabetes and Obesity. – 2016. – Vol. 23, iss. 5. – P. 353–359.*
26. *IARC 2019: "Night Shift Work" Is Probably Carcinogenic: What About Disturbed Chronobiology in All Walks of Life? / T.C. Erren [et al.] // Journal of Occupational Medicine and Toxicology. – 2019. – Vol. 14.*
27. *Nighttime Photochemistry: Nitrate Radical Destruction by Anthropogenic Light Sources [Electronic resource] / H. Stark [et al.]. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/252609588_Nighttime_photochemistry_nitrate_radical_destruction_by_anthropogenic_light_sources. – Date of access: 15.06.2024.*
28. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.*
29. *Эволюция новой сверхтяжёлой ракеты Илона Маска – Starship [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://zen.yandex.ru/media/spacex/evoliuciia-novoi-sverhtiajeloi-rakety-ilona-maska-starship-6134ac2c91e621338601140c. – Дата доступа: 19.06.2022.*
30. *SpaceX Rocket Lineup [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.deviantart.com/ynot1989/art/SpaceX-Rocket-Lineup-845390510. – Date of access: 15.06.2024.*
31. *Starship Rocket Noise Assessment for Flight and Test Operations at the Boca Chica Launch Facility [Electronic resource]: TN 20-02, Dec. 2020. – Arlington: KBR, 2021. – Mode of access: https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/space/stakeholder_engagement/spacex_starship/Appendix_B_Noise_Assessment.pdf. – Date of access: 15.06.2024.*
32. *Рыбников, С.И. Крупномасштабные геофизические реакции на запуски ракет-носителей космических аппаратов и перспективы метеорологической кибернетики / С.И. Рыбников // Авиакосмическое приборостроение. – 2002. – № 3. – С. 44–48.*
33. *Клюшников, В.Ю. О возможности возникновения триггерных эффектов в геосредах при пусках перспективных ракет-носителей сверхтяжёлого класса / В.Ю. Клюшников // Космонавтика и ракетостроение. – 2014. – № 6 (79). – С. 121–131.*
34. *Клюшников, В.Ю. Системный анализ возможных экологических последствий пусков супертяжёлого носителя Starship/Super Heavy / В.Ю. Клюшников // Космонавтика и ракетостроение. – 2022. – № 4 (127). – С. 152–164.*
35. *Воздействие ракетно-космической техники на окружающую среду / под общ. ред. В.В. Адушкина, С.И. Козлова, М.В. Сильникова. – М.: ГЕОС, 2016. – 795 с.*



УДК 629.78+658.567.1

Утилизация отходов космической индустрии

А.Э. Юницкий
доктор философии транспорта

ООО «Астроинженерные технологии»,
г. Минск, Беларусь

ЗАО «Струнные технологии»,
г. Минск, Беларусь

Приведены результаты анализа, выполненного с целью оптимизации переработки отходов космической индустрии, объём которых может достичь в будущем миллиардов тонн в год. Особое внимание уделено вопросам экологии космической среды, энергоэффективности и логистике технологий утилизации, а также выбору места размещения первого технологического передела космической промышленности и зон в Солнечной системе для складирования отходов и возможной их переработки с горизонтом планирования не менее 1000 лет.

Обосновано, что существенную часть космических индустриальных отходов целесообразно разместить в точках Лагранжа L_4 и L_5 системы «Солнце – Земля». Остальную часть необходимо использовать в качестве сырья для изготовления экологически чистых строительных материалов и конструкций, доставляемых на планету общепланетарным транспортным средством для нужд земной строительной отрасли. Кроме того, минеральные отходы могут быть применены для создания космических «Ноевых» Ковчегов с целью экспансии человечества и земной жизни в дальний космос – на экзопланеты земного типа.

Ключевые слова:
космическая логистика, космические промышленные отходы, космический «Ноев» Ковчег, космическое индустриальное ожерелье «Орбита» (КИО «Орбита»), общепланетарное транспортное средство (ОТС), точки Лагранжа, экология космической среды, энергоэффективность захоронения отходов.

UDC 629.78+658.567.1

Space Industry Waste Management

A. Unitsky
Dr. of Philosophy
in Information Technologies
(Transport)

Astroengineering Technologies LLC,
Minsk, Belarus

Unitsky String Technologies Inc.,
Minsk, Belarus

The results of an analysis present findings at optimizing the waste management within the space industry, a sector projected to generate billions of tons of waste annually in the future. Special attention is given to the ecology of the space environment, energy efficiency and the logistics of recycling technologies as well as the selection of a location for the first technological processing stage of the space industry and zones within the Solar System for waste storage and potential disposal, with a planning horizon of at least 1,000 years.

It is justified that a significant portion of space industrial waste should be placed at the Lagrange points L_4 and L_5 in the Sun–Earth system. The remaining waste should be used as raw material for the production of eco-friendly construction materials and structures, which will be delivered to Earth via the General Planetary Vehicle for the needs of the terrestrial construction industry. Additionally, mineral waste could be utilized to create space "Noah's" Arks for the expansion of humanity and Earth life into deep space, particularly to Earth-like exoplanets.

Keywords:
energy efficiency of waste disposal, General Planetary Vehicle (GPV), Industrial Space Necklace "Orbit" (ISN "Orbit"), Lagrange points, space environment ecology, space industrial waste, space logistics, space "Noah's" Ark.

Введение

Любая индустрия, в том числе космическая, функционирует по технологической схеме: на входе – сырьё и энергия, на выходе – продукт (услуга) и промышленные (индустриальные) отходы, образующиеся в результате вычленения из сырья промышленного продукта (услуги). Устранить отходы из технологических процессов, снижающих энтропию (в нарушение второго закона термодинамики), принципиально невозможно. Даже экологически более совершенная жизнь, зародившаяся на планете Земля около 4 млрд лет назад, не смогла избежать этого.

Живые организмы были вынуждены приспособить свои сложнейшие биотехнологические процессы (метаболизм) к образующимся биогенным отходам (в том числе в результате завершения жизненного цикла – после смерти). При этом абсолютно все отходы стали использоваться в пищевой (биотехнологической) цепочке. Таким образом на планете появилась биосфера – общий дом для миллиардов видов живых существ, полностью построенный на отходах их жизнедеятельности, – кислород в атмосфере и защитный озоновый слой, биогумус, обеспечивающий плодородие почв, и др.

Жизнь на Земле создала биосферу, построенную на биогенных отходах, промышленность в космосе неизбежно создаст аналогичную по масштабам техносферу, построенную на технологических отходах. В связи с этим утилизация отходов индустрии, размещённой в космическом пространстве в будущем, станет весьма актуальной после ввода в строй общепланетарного транспортного средства (ОТС) – самонесущего летательного аппарата, способного обеспечить широкомасштабную геокосмическую логистику.

Индустриализация космоса и внеземная экология

Открыть для земной технократической цивилизации эру индустриального (технологического) освоения космоса способно только ОТС благодаря своей экологической чистоте и логистическому потенциалу – возможности за один рейс доставлять в космос и обратно порядка 10 млн тонн грузов и 10 млн пассажиров. При этом себестоимость геокосмических перевозок снижается на три порядка по сравнению с себестоимостью транспортировки современными ракетами-носителями. ОТС станет связующим звеном между земной цивилизацией и космической технологической средой – техносферой, формирующейся вокруг планеты, на которой будет продолжать жить основной потребитель космической промышленной продукции, т. е. земное человечество.

Экология (др.-греч. οἶκος – жилище (дом), местопребывание и λόγος – учение) – термин, введённый немецким биологом Э. Геккелем в 1869 г. В то же время Вселенная, песчинкой которой является планета Земля, а пылинкой – земное человечество, не знает такого понятия. Она, например, не знает, что значит «горячо» или «холодно». Температура 10 000 000 К в центре Солнца, без чего не произошёл бы термоядерный синтез, наша ближайшая звезда не загорелась бы и на планете Земля не появилась бы жизнь, – это много или мало? Скорее, мало, так как при гибели звёзд – при взрывах сверхновых – температура достигает 100 млрд градусов. И это прекрасно, поскольку благодаря чудовищным по земным условиям температуре и давлению в триллионы триллионов атмосфер (много или мало?) были синтезированы все тяжёлые химические элементы, из чего, собственно, и состоит наша родная планета и любой живой организм на ней – от бактерии до человека. Фактически, мы состоим из звёздной пыли, которая с огромной скоростью, сметая на своём пути ближайшие звёздные системы и планеты, была выброшена во время взрыва сверхновой в окружающее пространство, состоящее из водорода и гелия, «загрязнив» космос химическими элементами всей таблицы Менделеева, синтезированными во время чудовищного (или не чудовищного?) взрыва. Или всё-таки не «загрязнив», а «обогатив», ведь из этой «грязи» состоят все планеты и все без исключения живые организмы, затем появившиеся на них?

Таким образом, для Вселенной неприменимо понятие «экология»: всё происходящее в течение миллиардов лет эволюции мёртвого вещества (неживой материи), – экологично. Именно поэтому земное человечество, как и внеземные технологические (инженерные) цивилизации, если они есть в нашей Вселенной, технологической (индустриальной) деятельностью в космическом пространстве и, соответственно, техногенными отходами космической индустрии в принципе не смогут нарушить экологию космоса, которой в природе на самом деле не существует. Понятие «экология» подходит только для «живых» планет, где есть жизнь и живая среда – биосфера, а также для ближнего космоса из-за возможного негативного влияния расположенной в нём космической индустрии на планетарные биосферные процессы.

Точки Лагранжа и космическая индустрия

В любой звёздной системе, в том числе в Солнечной, имеются точки Лагранжа (L-точки), или точки либрации (лат. *librātiō* – раскачивание). Это области в системе из двух массивных тел, в которых третье тело с малой массой, не испытывающее воздействия никаких других сил, кроме гравитационных со стороны двух первых тел, может оставаться неподвижным относительно этих тел [1].

На рисунке показаны точки Лагранжа в системе «Солнце – Земля». Аналогичный вид имеют точки Лагранжа и в системе «Земля – Луна». При этом L_4 и L_5 являются точками условно: они занимают весьма обширные области, например, в системе «Солнце – Земля» дно гравитационной ямы имеет размеры в десятки миллионов километров (там свободно можно разместить все планеты Солнечной системы), а в системе «Земля – Луна» – десятки тысяч километров.

Наибольший интерес с позиций космической индустриальной среды представляют треугольные точки L_4 и L_5, которые соответствуют положению третьих вершин треугольников, размещённых в плоскости орбиты второго тела в 60° впереди и позади него.

В точках Лагранжа практически отсутствует гравитация. Любые космические тела в точках L_4 и L_5 будут находиться в равновесии в гравитационной яме с чрезвычайно пологими склонами. Объекты, выведенные из такого состояния каким-либо внешним воздействием, «скатятся» обратно в центр гравитационной ямы благодаря микрогравитации. В точках L_1, L_2 и L_3 космические тела будут, наоборот, находиться в неустойчивом равновесии – на вершинах пологих гравитационных холмов, поэтому, выведенные из равновесного положения, они «скатятся» с них и самостоятельно не смогут вернуться обратно.

Писатели-фантасты, давно обратившие внимание на точки Лагранжа, размещают в них всевозможные объекты: инопланетные артефакты («Защитник» Ларри Нивена), мусорные свалки («Единение разумов» Чарльза Шеффилда, «Нептунова арфа» Андрея Балабухи) и даже целые планеты («Планета, с которой не возвращаются» Пола Андерсона). Айзек Азимов предложил отправлять в точки Лагранжа радиоактивные отходы («Вид с высоты») [1].

Точки Лагранжа и первый технологический передел

Производство космической продукции, независимо от его размещения в космосе, должно осуществляться не само по себе, а в интересах своих создателей (и потребителей) – землян (в будущем это порядка 10 млрд человек, проживающих на родной планете) [2–8]. Античеловечно выселять с Земли на другие планеты, астероиды или в космическое пространство людей, имеющих миллиардолетнюю историю эволюции жизни на Голубой планете, закодированной в материальных единицах наследственности – генах, которые локализованы в хромосомах ядра и ДНК органелл [9]. По нашему мнению, во Вселенной для земного человека ни в настоящее время, ни в отдалённом будущем нет более достойного места для жизни и работы, чем его колыбель – биосфера родной Земли.

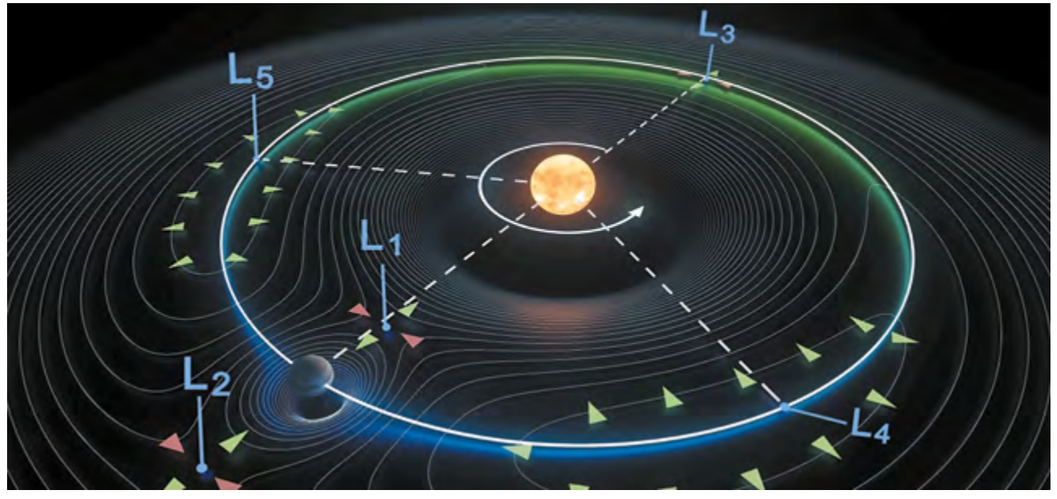


Рисунок – Точки Лагранжа в системе «Солнце – Земля»

С планеты, из её биосферы, необходимо изгнать чуждую ей индустрию (техносферу), созданную человеком, в более подходящую технологическую среду, где есть невесомость и глубокий вакуум, которые отсутствуют на Земле; где имеется практически неограниченный доступ к солнечной энергии и минеральным ресурсам, например, находящимся в главном поясе астероидов между Марсом и Юпитером. Это позволит поднять все существующие сегодня на Земле индустриальные технологии на принципиально новый инженерный и экономический уровень. Так, полностью металлический астероид (16) Психея содержит триллионы тонн самородных металлов (возможно, он был когда-то ядром разрушенной планеты) – железа, никеля, золота, платины, стоимость которых оценивается в сумму, превышающую 10 000 квадрлн USD [10].

Первый технологический передел по выпуску космических полуфабрикатов рекомендуется разместить в точках Лагранжа L_4 и L_5 системы «Солнце – Земля», в которых можно построить заводы и цеха по производству полуфабрикатов из сырья, доставляемого, например, с астероида Психея. Здесь же будет сосредоточена мощная энергетика с дешёвой солнечной энергией, необходимой для работы энергозатратной космической промышленности первого передела, которую предлагается назвать лагранжевой (по месту расположения). В невесомости можно хранить и образующиеся индустриальные отходы, которые захоронены в зонах, ограждённых плёнкой и/или мелкой сеткой. Эти зоны могут быть выполнены сплошными либо пустотелыми, в форме полого шара или цилиндра, что легко достижимо в условиях невесомости. Данное космическое захоронение станет противометеоритным барьером для размещённых внутри космических производств. Так, стенка толщиной 10 м, сформированная определённым образом из минеральных отходов, сможет защитить от удара летящего со скоростью 10 км/с метеорита массой до 1 тонны, а толщиной 50 м – до 10 тонн.

Если объём первого передела в будущем превысит 10 млрд т/год космических полуфабрикатов (что существенно превосходит сегодняшний объём аналогичного производства на Земле), то масса промышленных отходов будет примерно в два раза большей – порядка 20 млрд т/год. Полый шар диаметром 100 км, имеющий толщину стенки 1 км, вместит в себя (для создания своих стенок) около 30 000 км^3 (50 трлн тонн) промышленных отходов. Такой объём отходов произведёт лагранжева промышленность в течение 2500 лет. Кроме того, стенка толщиной 1 км защитит внутреннее пространство полого шара, образованного из отходов, от удара метеорита массой до 1000 тонн. Данную защиту необходимо формировать поэтапно, в первую очередь со стороны наиболее вероятных прилётов космических странников.

В зонах Лагранжа L_4 и L_5 системы «Солнце – Земля» предполагается свободное размещение тысяч подобных производственных шаров диаметром 100 км каждый, что обеспечит работу космической промышленности первого передела на миллионы лет вперёд. На начальных этапах такие производства могут быть локализованы и в меньших объёмах, начиная с диаметра шара 100 м и толщины защитной оболочки 1 м.

Важно отметить не только экологичность захоронений промышленных отходов в точках Лагранжа, но и их особенно высокую энергоэффективность. Так, альтернативное захоронение отходов на Солнце, Луне или в дальнем космосе (например, в поясе астероидов) станет чрезвычайно энергозатратным – на каждую тонну промышленных отходов придётся расходовать энергию, в топливном эквиваленте превышающую тонну бензина. Для перемещения этой же тонны отходов по дну гравитационной ямы в зонах L_4 и L_5, причём в состоянии невесомости (например, из центра 100-километрового полого шара к его стенке), будет достаточно энергии, заключённой и в 1 г бензина.

Кроме того, сброс на Солнце и Луну промышленных отходов, падающих с первой космической скоростью, негативно повлияет на поверхности данных небесных тел: вызовет землетрясения (точнее, солнце- и лунотрясения), а также создаст дополнительные «шрамы» на Луне. В то же время не все отходы долетят до поверхности Солнца, не испарившись (это зависит от их массы и габаритов). Оставшиеся отходы звезда поглотит, как она делает это ежегодно с миллиардами тонн комет, метеоритов и космической пыли, что, впрочем, не отражается на идущем на Солнце в течение миллиардов лет термоядерном синтезе и на светимости звезды.

КИО «Орбита» и космическая логистика

Полуфабрикат – ещё не изделие, которое лучше производить поближе к потребителю (человечеству, живущему на планете), а именно в космическом индустриальном ожерелье «Орбита» (КИО «Орбита»), размещённом на высотах 400–500 км. Здесь также целесообразно выпускать конечную космическую продукцию: химически чистые, высокопрочные и специальные конструкционные материалы и композиты, лекарственные вещества, электронику, машиностроительное и иное оборудование.

Логистика между лагранжевыми производствами и КИО «Орбита», осуществляемая в невесомости по земной орбите вокруг Солнца, будет энергетически малозатратной. Энергозатратной станет только неорбитальная логистика, например полёты к поясу астероидов и обратно, где не обойтись без мощных реактивных двигателей. В зависимости от поставленных задач такие двигатели могут быть совершенно разными – химическими, ионными, электрическими, кинетическими, ядерными, в виде солнечного паруса и др.

В зоне КИО «Орбита» (в силу близости биосферы Земли) двигатели должны быть экологичными в понимании жителей планеты – землян. Так, вода для биосферы и земной жизни не опасна, более того, из неё на 75 % состоит любой живой организм. Значит, с земной орбиты в космос должны стартовать ракеты на химическом топливе – на водородно-кислородных реактивных двигателях, в которых продуктом горения является H_2O. Попутно доставленную с Земли на орбиту воду, находящуюся в балластной системе ОТС, можно разложить с помощью солнечной энергии на H_2 и O_2 и заправить ими топливные баки космических буксиров, собранных здесь же, в КИО «Орбита».

Таким образом, в межпланетных путешествиях будет использована солнечная энергия, взятая у светила вне Земли, поэтому подобная логистика не повлияет на экологию нашей планеты и её биосферы.

Промышленные отходы – строительные материалы и источник энергии для Земли

Большинство минеральных промышленных отходов химически инертны и экологически безопасны. После дополнительной термической обработки в вакууме, например путём спекания концентрированным солнечным излучением, легко получаемым в открытом космическом пространстве, данные материалы планируется применять на Земле в качестве прочных и лёгких (вспененных) строительных элементов – кирпичей, блоков, облицовочных плиток, панелей и др. Часть этих отходов может быть переработана (опять же с использованием солнечной энергии, невесомости и глубокого вакуума) в вяжущие вещества – цемент и его более прочные аналоги. При этом такая орбитальная строительная продукция обладает по отношению к поверхности планеты высокой энергией – потенциальной и кинетической, которую можно рекуперировать в ОТС в электрическую энергию при его посадке на Землю.

Особенностью функционирования ОТС является то, что его масса с грузом должна быть примерно одинаковой при взлёте и посадке, в противном случае режимы полёта окажутся неоптимальными: либо с большими ускорениями, либо с потерей значительного количества энергии, которую придётся сбрасывать в окружающую среду в виде тепла. Следовательно, необходима балластная система. В качестве балласта на этапе подъёма в космос целесообразно использовать именно воду, которую на орбите можно передать на производство водородно-кислородного топлива для космических буксиров. В качестве обратного балласта ОТС, причём с определённым избытком, нужно взять строительные материалы, полученные в космосе из промышленных отходов.

Каждая избыточная тонна груза, доставленного на Землю, отдаст ОТС энергию, примерно эквивалентную заключённой в тонне нефти. Значит, если ежегодный обратный грузопоток из космоса на планету превысит прямой грузопоток на 1 млрд тонн, то с энергетической точки зрения это эквивалентно добыче на планете 1 млрд тонн нефти. В данном случае промышленный мусор станет экотехнологией «2 в 1»: он будет не только строительным материалом, но и внеземным источником «зелёной» энергии.

Таким образом, на Земле предполагается прекратить добычу нефти и производство минеральных строительных материалов – не понадобятся нефтяные скважины и карьеры по добыче строительного сырья. На нашей планете можно оставить только производство органических строительных материалов, веществ и топлива, например деревопереработку и производство спирта из растительного сырья и древесины как экологически чистого топлива, поскольку спирт экологичнее природного газа, который признан всеми как наиболее «зелёное» топливо.

Качество и количество строительной продукции, полученной в космосе, можно существенно повысить при одновременном снижении расхода сырья и себестоимости производства, если выполнять строительные элементы в виде пеноматериалов с закрытыми порами. На Земле изготовление таких материалов в условиях гравитации проблематично, а в космосе в условиях невесомости и глубокого вакуума можно получать не только минеральные пеноматериалы (например, пеностекло), но и различные элементы из вспененных композитов, металлов и их сплавов (например, из пеностали или пеноалюминия). При этом пеносталь не только не уступит по прочности традиционным строительным материалам (кирпич, бетон, дерево), она также будет лёгкой (плотность 100–500 кг/м^3, поэтому будет плавать в воде), долговечной, негорючей, но, как и любой пенопласт, проявит высокие теплоизоляционные свойства.

Масса Земли с годами прирастает (данный процесс происходит и сейчас – на планету постоянно падает космическая пыль; идут метеоритные дожди). Что такое 1 млрд т/год дополнительного вещества для земного шара? Это слой минерального и экологически чистого вещества толщиной около 1 мм за 1000 лет поставки строительных материалов, если их равномерно распределить тонким слоем по всей поверхности планеты. Очевидно, что для Земли никакой опасности нет, поскольку протекающие на ней естественные процессы в тысячи раз интенсивнее: относительное перемещение материков, толщина наносов на суше и дне океанов, рост гор и опускание участков суши за это время составят метры, а иногда десятки и даже сотни метров.

Космические промышленные отходы – строительный материал для создания Ковчегов, предназначенных для путешествий в дальний космос

Для выполнения межзвёздных перелётов требуется высокая скорость – даже к ближайшей звезде Проксима Центавра, удалённой от нас на 4,244 светового года, придётся лететь более 12 000 лет со скоростью 100 км/с. Поскольку цель таких полётов – экспансия человечества и земной жизни в дальний космос, то лететь необходимо не в обычном космическом аппарате, а в ЭкоКосмоДоме (ЭКД) [11] и не обычному экипажу, а устойчивому социуму, способному не просто к длительному автономному существованию, но и к прогрессу и развитию в течение примерно 500 поколений. Значит, экипаж (точнее, жители ЭКД) должен быть многочисленным – несколько тысяч человек.

Внутри ЭКД будет создана замкнутая экосистема биосферного типа, характеризующаяся круговоротом веществ и энергии, оптимальным для проживания субтропическим климатом, а также генетически разнообразным биосферным «населением» – миллионами видов живых организмов, взятых из всех царств Живой Природы: бактерий, вирусов, грибов, растений и животных.

Кроме генетического разнообразия, в таком Ковчеге необходимы специалисты десятков, если не сотен, профессий, ведь он не только представляет собой земную биосферу в миниатюре, но и является сложнейшим автономно существующим в течение тысяч лет летательным аппаратом со своей энергетикой, двигателями, запасами топлива и исчерпаемых ресурсов (не участвующих в биосферном круговороте), инженерными коммуникациями, ремонтной базой, жилым и производственным фондом, агротехникой, агро- и аквакультурами, детскими садами, школами и университетом, лечебными заведениями и др.

Основная проблема безопасности в таком длительном полёте – это радиационная и противометеоритная защита. При скорости 100 км/с даже одна встреча с космическим странником, например ледышкой размером с булыжник (по разрушающей энергетике это сравнимо с ударом метеорита массой в одну тонну на скорости 10 км/с), может стать фатальной для всей экспедиции. Поскольку вероятность столкновения не равна нулю, ЭКД должен иметь мощную оболочку из вспененных минералов и металлов, толщиной несколько метров, особенно в его носовой части. Подобная броня послужит также минеральной кладовой, потребность в которой будет неоднократно возникать в течение столь длительного путешествия. Более того, минералы могут стать рабочим телом для создания тормозного импульса и гашения скорости Ковчега со 100 км/с до планетарных орбитальных скоростей в конце пути.

Таким образом, отходы лагранжевой промышленности на земной орбите предлагается сразу же формировать (складировать, упаковывать) в виде защитной оболочки будущего межпланетного корабля, например, выполненного в виде полого веретена длиной 1500 м и внутренним диаметром 300 м. Внутренняя поверхность такого аналога земной поверхности составит более 1 млн м^2, или 200–500 м^2 на одного человека. Это будет для жителя космического дома вполне комфортно, тем более что внутреннюю среду Ковчега – природную экосистемную, жилую и производственную – можно создать многоярусной, т. е. в разы большей площади.

Для получения земного уровня гравитации (ускорение свободного падения 9,81 м/с^2) «веретено» следует раскрутить вокруг продольной оси до окружной скорости 38,3 м/с (один оборот за 24,6 с). Слой плодородной почвы толщиной несколько метров, устилающий внутреннюю поверхность ЭКД, требуемый для посадки садов и лесов, даст дополнительную радиационную и противометеоритную защиту.

За один год работы лагранжева промышленность, созданная на земной орбите вокруг Солнца, при необходимости будет способна снарядить десятки космических «Ноевых» Ковчегов для путешествий во многие уголки нашей галактики Млечный Путь.

Заключение

Вынос промышленного производства в космос кардинально улучшит глобальную экологию живой планеты Земля и не отразится на мёртвом космическом пространстве, для которого не существует такого понятия, как «экология». Целесообразно разместить промышленные производства первого технологического передела в точках Лагранжа L_4 и L_5 системы «Солнце – Земля». Индустриальные отходы, представляющие опасность для биосферы Земли, следует оставлять там же, формируя вокруг предприятий сферическую оболочку диаметром от 100 м до 100 км, имеющую толщину стенки от 1 до 1000 м, что защитит заводы и цеха от метеоритов и космической пыли. Внутри таких сферических оболочек может быть создана соответствующая технологическая среда для космических индустриальных технологий: глубокий вакуум, полная невесомость (без микрогравитации) и технологическая чистота (без космической пыли и космического излучения).

Оптимальным местом захоронения некоторых минеральных промышленных отходов космической индустрии являются не только точки Лагранжа L_4 и L_5, но и сама Земля. На планету предлагается транспортировать не отходы, а полученные из них экологически безопасные для биосферы и человека строительные материалы, преимущественно пеноматериалы, выполненные из минералов и/или металлов. При этом каждая тонна такой продукции, доставленная из космоса на поверхность Земли, с энергетической точки зрения эквивалентна добыче тонны нефти, поскольку её кинетическая и потенциальная энергия будет рекуперирована в кинетическую энергию ленточных маховиков ОТС, которую при необходимости можно преобразовать в электрическую энергию для нужд земной энергосистемы.

Отходы лагранжевой промышленности, образующиеся на земной орбите, найдут применение также при строительстве космических «Ноевых» Ковчегов с замкнутыми экосистемами биосферного типа, предназначенных для автономного полёта в течение тысячелетий со скоростью около 100 км/с. Их старт планируется из точек Лагранжа в системе «Солнце – Земля» с помощью специальных космических буксиров. Везти с собой они будут не только топливо для торможения в конце многотысячелетнего пути, но и рабочее тело для создания тормозного импульса. Это обеспечит экспансию человеческой цивилизации и земной жизни в дальний космос, опять же через точки Лагранжа в других звёздных системах с экзопланетами, имеющими подходящие для земных форм жизни условия.

Список основных источников

1. *Точки Лагранжа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Точки_Лагранжа. – Дата доступа: 18.05.2024.*
2. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.*
3. *Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – 240 с.*
4. *Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 12 сент. 2020 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – 516 с.*
5. *Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы IV междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 18 сент. 2021 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2022. – 388 с.*
6. *Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы V междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 23–24 сент. 2022 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2023. – 320 с.*
7. *Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы VI междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 7–8 окт. 2023 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2024. – 492 с.*
8. *Юницкий, А.Э. Инженерия. Мир как инженерный проект / Анатолий Юницкий. – Минск: СтройМедиаПроект, 2023. – 320 с.*
9. *Наследственность [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Наследственность. – Дата доступа: 20.05.2024.*
10. *Астероид из железа, никеля и золота, стоимостью 10 тысяч квадриллионов долларов, НАСА посетит в 2026 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://pikabu.ru/story/asteroid_iz_zheleza_nikelya_i_zolota_stoimostyu_10_tyisyach_kvadrillionov_dollarov_nasa_posetit_v_2026_godu_5536665. – Дата доступа: 25.05.2024.*
11. *Юницкий, А.Э. Особенности проектирования жилого космического кластера «ЭкоКосмоДом» – миссия, цели, назначение / А.Э. Юницкий // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 51–57.*

УДК 524.83

Происхождение «реликтового» излучения согласно теории Гипервселенной

Р.В. Хачатуров
член-корреспондент
Российской академии
космонавтики
им. К.Э. Циолковского,
кандидат
физико-математических наук

Федеральный
исследовательский центр
«Информатика и управление»
Российской академии наук,
г. Москва, Россия

Рассмотрены современные данные астрономических и астрофизических наблюдений и измерений относительно крупномасштабного распределения космического микроволнового фонового («реликтового») излучения (КМФИ), воздействие которого могут испытывать космические объекты на околоземной орбите, в том числе космическое индустриальное ожерелье «Орбита». На основе теории Гипервселенной описано происхождение КМФИ, отмечены особенности его распределения.

Приведены ключевые положения и выводы теории Гипервселенной, с помощью которой получены законы периодического изменения радиуса, скорости и ускорения расширения/сжатия нашей Вселенной в процессе её циклического движения по четырёхмерной гиперповерхности пятимерного тора Гипервселенной. Объяснена природа гравитации, обозначены структура и свойства многомерного замкнутого времени, определены основные параметры пятимерного тора Гипервселенной, охарактеризован процесс обмена материей и энергией между параллельными вселенными через чёрные дыры.

Показано, что в соответствии с теорией Гипервселенной причиной возникновения и существования КМФИ являются собственные колебания трёхмерного замкнутого контура нашей Вселенной в процессе её циклического движения по четырёхмерной гиперповерхности пятимерного тора Гипервселенной.

Ключевые слова:
космическое микроволновое фоновое («реликтовое») излучение (КМФИ), космология, математическое моделирование, пятимерный тор, теория Гипервселенной.

UDC 524.83

Origin of “Relict” Radiation According to Hyperuniverse Theory

R. Khachaturov
Corresponding Member
of the Russian Academy
of Cosmonautics
named after K.E. Tsiolkovsky,
Ph.D. in Physical
and Mathematical Sciences

Federal Research Center
“Computer Science and Control”
of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia

Modern data from astronomical and astrophysical observations and measurements regarding the large-scale distribution of the cosmic microwave background (“relict”) radiation (CMBR) which can affect space objects in near-Earth orbit, including the Industrial Space Necklace “Orbit”, are considered. The origin of the CMBR is described based on the Hyperuniverse theory, and the features of its distribution are noted.

The key positions and conclusions of the Hyperuniverse theory are presented, through which the laws of periodic changes in the radius, velocity and acceleration of the expansion/contraction of our Universe during its cyclic movement along the four-dimensional hypersurface of the five-dimensional torus of the Hyperuniverse are obtained. The nature of gravity is explained, the structure and properties of multidimensional closed time are outlined, the main parameters of the five-dimensional torus of the Hyperuniverse are determined, and the process of matter and energy exchange between parallel universes through black holes is characterized.

It is shown that, according to the Hyperuniverse theory, the cause of the occurrence and existence of CMBR is the inherent oscillations of the three-dimensional closed contour of our Universe during its cyclic movement along the four-dimensional hypersurface of the five-dimensional torus of the Hyperuniverse.

Keywords:
cosmic microwave background (“relict”) radiation (CMBR), cosmology, five-dimensional torus, Hyperuniverse theory, mathematical modeling.

Введение

По данным современных измерений флуктуаций температуры космического микроволнового фонового излучения (КМФИ, или «реликтовое» излучение) в различных масштабах составлены карты его распределения во Вселенной. В настоящей статье предлагается объяснение особенностей этого явления с помощью теории Гипервселенной и лежащей в её основе математической модели [1–34]. Важно отметить, что применение математического моделирования и математических методов решения разнообразных задач [35–58] будет приобретать всё большее значение по мере расширения и развития комплексных изысканий и освоения космического пространства человечеством. Здесь помимо государственных организаций большую работу проводят и частные. Один из примеров тому – исследования группы компаний А.Э. Юницкого [59–62], направленные на индустриализацию ближнего космоса с использованием общепланетарного транспортного средства, а также космического индустриального ожерелья «Орбита».

Крупномасштабное распределение «реликтового» излучения во Вселенной

На рисунке 1 представлено полученное в различных космических обсерваториях (включая такие известные, как COBE, WMAP и Planck) крупномасштабное распределение «реликтового» излучения во Вселенной.

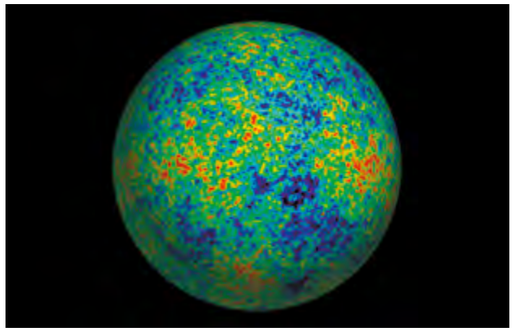


Рисунок 1 – Крупномасштабное распределение КМФИ во Вселенной

Существование флуктуаций температуры, а значит, и интенсивности КМФИ в различных угловых масштабах сложно объяснить в рамках теории Большого взрыва. Для этого приходится прибегать к искусственным приёмам, основанным на эффектах квантовой неопределённости и др. Однако их использование не может раскрыть физической сути наблюдаемых явлений и процессов. Фактически такой подход становится тупиковым, не ведущим к открытию реальных законов происхождения и устройства нашей Вселенной. Ведь если, например, принять предположение, что на фундаментальном субатомном уровне имеет место абсолютная неопределённость, то встаёт логичный вопрос: каким образом на макроуровне могут существовать какие-либо законы?

То же касается и главного предположения теории Большого взрыва о происхождении Вселенной в результате взрыва некой сверхплотной «сингулярности», поскольку данная концепция не находит ответа на три основных вопроса:

1. Откуда взялась эта уникальная «сингулярность»?

2. По какой причине она вдруг взорвалась?

3. Как возникла гигантская энергия для такого взрыва, благодаря которой Вселенная до сих пор продолжает расширяться по закону Хаббла и с дополнительным положительным ускорением?

Один вопрос «Откуда взялась Вселенная?» теория Большого взрыва заменяет сразу тремя, на которые не может дать ответа.

Каждый кубический миллиметр окружающего нас вещества в любых его формах и состояниях содержит триллионы таких сингулярностей, однако за всю историю нашей Вселенной ни одна из них не взорвалась: ни в вакууме, ни внутри звёзд, ни в жидкостях, ни в твёрдых телах, ни в живой материи, ни в синхрофазотронах любой мощности – нигде. Следовательно, главное предположение (аксиома) теории Большого взрыва не только не доказано, но и ничем не обосновано, кроме простой линейной экстраполяции наблюдаемого закона Хаббла.

Основные положения и выводы теории Гипервселенной

Как показывают современные астрономические и астрофизические наблюдения и измерения, в настоящий момент наша Вселенная расширяется согласно закону Хаббла и с дополнительным положительным ускорением. Этот факт полностью объясняется теорией Гипервселенной [1–34] без помощи таких искусственных понятий, как «тёмная материя» и «тёмная энергия».

Для того чтобы легче представить описываемую математическую модель, уберём три пространственные координаты. В таком случае наша Вселенная примет вид окружности с радиусом кривизны около 10 млрд световых лет [1–34]. Параллельные ей вселенные предстанут также в виде окружностей, расположенных дальше и ближе неё относительно общего центра (рисунок 2).

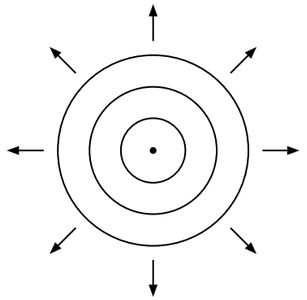


Рисунок 2 – Двумерная схема расширяющихся параллельных вселенных, имеющих общий центр

Расположим эти окружности на поверхности тора (рисунок 3), которая в соответствии с теорией Гипервселенной вращается, выворачиваясь изнутри наружу и обратно, как показано на рисунке 3, или сами окружности «скользят» по поверхности тора, циклически увеличивая и уменьшая свои радиусы. Период их расширения плавно переходит в период сжатия и так далее. Важно отметить: параллельные вселенные большего радиуса, уже начавшие сжиматься, не сталкиваются со вселенными меньшего радиуса, продолжающими расширяться, что непременно происходило бы, если бы они находились на плоскости (рисунок 2), а не на поверхности тора (рисунок 3).

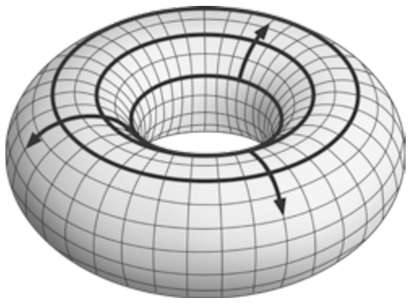


Рисунок 3 – Трёхмерная схема пятимерного тора Гипервселенной

Это объясняет возможность существования циклически расширяющихся и сжимающихся параллельных миров. Радиус кривизны нашей и параллельных ей вселенных никогда не станет равным нулю: минимальное его значение будет равно внутреннему радиусу тора, а максимальное – внешнему (рисунок 4).

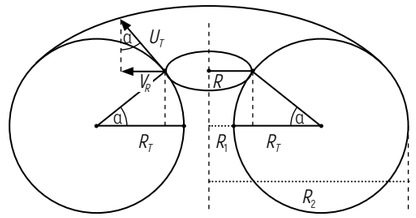


Рисунок 4 – Трёхмерная схема пятимерного тора Гипервселенной в разрезе

В результате проведённых теоретических исследований [1–34], основанных на современных астрономических и астрофизических данных, определены приблизительные размеры пятимерного тора Гипервселенной (рисунки 3, 4) и получены следующие законы периодического изменения размера, скорости и ускорения расширения/сжатия нашей Вселенной в процессе её движения по пятимерному тору Гипервселенной:

$$R(t) = R_1 + R_T(1 - \cos\alpha) = R_1 + R_T\left[1 - \cos\left(t\,\frac{C}{R_T}\right)\right],$$

$$V_R(t) = C\sin(\alpha) = C\sin\left(t\,\frac{C}{R_T}\right),$$

$$A_R(t) = C\omega_T\cos(\alpha) = \frac{C^2}{R_T}\cos\left(t\,\frac{C}{R_T}\right),$$

где R – радиус кривизны нашей Вселенной в настоящий момент (≈10 млрд световых лет);

t – время;

$R_1 = R - R_T(1 - \cos\alpha)$ – внутренний радиус тора Гипервселенной (≈4,7 млрд световых лет);

R_T – радиус тела тора Гипервселенной (≈20 млрд световых лет);

$\alpha = \omega_T t$ – угол поворота поверхности тора от начала периода расширения нашей Вселенной (≈0,73 рад ≈ 42°);

C – скорость света в вакууме;

V_R – скорость расширения/сжатия нашей Вселенной в процессе её движения по пятимерному тору Гипервселенной;

A_R – ускорение расширения/сжатия нашей Вселенной в процессе её движения по пятимерному тору Гипервселенной;

$\omega_T = \frac{C}{R_T}$ – угловая скорость вращения поверхности тора.

Внешний радиус тора Гипервселенной R_2 находится по формуле:

$$R_2 = R_1 + 2R_T \approx 44{,}7 \text{ млрд световых лет.}$$

Исходя из полученных законов и параметров пятимерного тора Гипервселенной, можно подсчитать ускорение расширения Вселенной для расстояний, равных радиусу её кривизны ($R_0 \approx 10$ млрд световых лет) в настоящий момент:

$$A_{R_0} = \frac{C^2}{R_T}\cos(\alpha_0) \approx 5 \times 10^{-10} \times 0{,}745 = 3{,}725 \times 10^{-10} \text{ м/с}^2.$$

Это теоретическое значение соответствует самым современным данным астрофизических измерений.

Положительное ускорение расширения Вселенной впервые обнаружено и определено астрофизиками С. Перлмуттером, Б. Шмидтом и А. Риссом. За это открытие в 2011 г. им присуждена Нобелевская премия. Вычисленное по законам теории Гипервселенной ускорение расширения Вселенной A_{R_0} с высокой точностью совпало с их экспериментальными данными [1–34].

Таким образом, согласно теории Гипервселенной никакого Большого взрыва никогда не было. Вселенная не возникла из сингулярности и никогда в неё не сожмётся, а продолжит циклически увеличивать и уменьшать свой радиус в процессе движения по пятимерному тору Гипервселенной (рисунок 3). Заметим, что если в математической модели принять внутренний радиус пятимерного тора Гипервселенной равным или близким к нулю, то она станет описывать расширение Вселенной из сингулярности. Однако даже в этом случае будут точно соблюдаться полученные законы [1–34] периодического изменения размера, скорости и ускорения расширения/сжатия нашей Вселенной в процессе её движения по пятимерному тору Гипервселенной.

«Реликтовое» излучение в соответствии с теорией Гипервселенной

Распределение во Вселенной КМФИ полностью соответствует теории Гипервселенной и объясняется ею, поскольку имеет регулярную структуру на разных масштабах, что сложно объяснить какими-то случайными процессами. Больше всего это похоже на волновую интерференционную картину (рисунок 1). Подобное можно наблюдать, например, на поверхности океана при полёте над ним на большой высоте. Это хорошо обосновывается теорией Гипервселенной [1–34], согласно которой трёхмерная сфера Вселенной вибрирует при движении по пятимерному тору Гипервселенной (рисунок 3). Такая вибрация и вызывает КМФИ, которое необоснованно иногда называют «реликтовым». Порождаемые ею в каждой точке нашей замкнутой Вселенной электромагнитные волны многократно накладываются друг на друга, формируя наблюдаемую нами сложившуюся в замкнутом трёхмерном пространстве Вселенной за сотни миллиардов лет устойчивую интерференционную картину. Отметим: существование КМФИ – один из признаков того, что линейная скорость движения Вселенной по четырёхмерной гиперповерхности пятимерного тора Гипервселенной (рисунок 3) равна скорости света в вакууме.

Заключение

В соответствии с теорией Гипервселенной [1–34] КМФИ вовсе не «реликтовое» (образовавшееся вследствие охлаждения сверхгорячей материи вскоре после гипотетического Большого взрыва), оно возникает в результате собственных колебаний трёхмерного замкнутого контура нашей Вселенной при её движении по поверхности пятимерного тора Гипервселенной (рисунок 3). Эти колебания, в свою очередь, появляются из-за большого количества неоднородностей, локальных искривлений пространства (согласно общей теории относительности) Вселенной и Гипервселенной, связанных с наличием и распределением различных массивных объектов во Вселенной: планет, звёзд, галактик, чёрных дыр и др. Так как любое электромагнитное излучение распространяется со скоростью света в вакууме, то логично предположить, что и скорость порождающего КМФИ движения Вселенной по тору Гипервселенной должна быть равна скорости света в вакууме.

Всего несколько веков назад, когда человек ещё не мог перемещаться на значительные расстояния, вполне достаточно было иметь простую модель мира: Земля плоская, где-то есть её край, на котором воды всемирного океана обрушиваются в бездну; Солнце и Луна – плоские блюдца, летающие вокруг Земли; звёзды – отверстия в небесной сфере, через которые проникает сияние иного мира, и т. д. Однако, когда люди стали организовывать экспедиции и находить новые континенты, а вовсе не край Земли, возникла потребность в создании более полной и правильной модели устройства мира. Без неё просто невозможны были бы осознанные кругосветные путешествия, не говоря уже об освоении воздушного пространства и ближнего космоса.

До недавнего времени нас удовлетворяла та модель, которая пришла на смену плоской картине мира, но в связи с исследованием космических далей и необходимостью использования околосветовых скоростей такие модели Вселенной уже не позволяют точно описывать процессы, происходящие вокруг нас. Это требуется учитывать и при индустриализации космоса, чему большое внимание в своих трудах уделяет белорусский учёный А.Э. Юницкий. Для дальнейшего изучения ближнего и дальнего космоса нужно применять более полную и точную модель, которую даёт теория Гипервселенной. Особенности крупномасштабного распределения КМФИ во Вселенной – одно из подтверждений данной концепции. Кроме того, правильное и глубокое представление об устройстве Вселенной имеет существенное значение для осознания человечеством удивительной красоты и грандиозности цели, к которой мы идём по пути освоения космического пространства.

Список основных источников

1. *Хачатуров, Р.В. Пятимерная модель Гипервселенной и возможные этапы освоения космического пространства / Р.В. Хачатуров // Актуальные проблемы российской космонавтики: тр. XXXV академ. чтений по космонавтике, Москва, 25–28 янв. 2011 г. – М.: Комиссия РАН, 2011. – С. 277–278.*
2. *Хачатуров, Р.В. Математическая модель Гипервселенной и её применение для оценки возможностей освоения космического пространства / Р.В. Хачатуров // Гагаринский сборник: материалы XXXVIII обществ.-науч. чтений, посвящ. памяти Ю.А. Гагарина. – Воронеж: Науч. кн., 2011. – С. 414–425.*
3. *Хачатуров, Р.В. Математическая модель Гипервселенной и её применение для оценки перспектив освоения космического пространства / Р.В. Хачатуров // Человек – Земля – Космос: диалектика взаимосвязи стратегических социальных и технических проектов. – М.: Культур. революция, 2011. – С. 165–169.*
4. *Хачатуров, Р.В. Перспективы изучения дальнего космоса: математическая модель Гипервселенной / Р.В. Хачатуров // Актуальные проблемы российской космонавтики: тр. XXXVI академ. чтений по космонавтике, Москва, 24–27 янв. 2012 г. – М.: Комиссия РАН, 2012. – С. 255–258.*
5. *Хачатуров, Р.В. Периодический закон изменения ускорения расширения Вселенной, вытекающий из математической модели Гипервселенной / Р.В. Хачатуров // Идеи К.Э. Циолковского: прошлое, настоящее, будущее: материалы XLVII науч. чтений памяти К.Э. Циолковского, Калуга, 18–19 сент. 2012 г. – Калуга: Эйдос, 2012. – С. 300–302.*
6. *Хачатуров, Р.В. Динамика пятимерного тора Гипервселенной в трёхмерном времени / Р.В. Хачатуров // Актуальные проблемы российской космонавтики: тр. XXXIX академ. чтений по космонавтике, Москва, 27–30 янв. 2015 г. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. – С. 187–190.*
7. *Хачатуров, Р.В. Теория пятимерной тороидальной Гипервселенной / Р.В. Хачатуров // Прикладная математика и математическая физика. – 2015. – Т. 1, № 1. – С. 129–146.*
8. *Хачатуров, Р.В. Чёрные дыры – трансвселенские торнадо / Р.В. Хачатуров // К.Э. Циолковский и этапы развития космонавтики: материалы 50-х науч. чтений памяти К.Э. Циолковского, Калуга, 15–17 сент. 2015 г. – Калуга: Эйдос, 2015. – С. 280–281.*
9. *Хачатуров, Р.В. Объяснение природы гравитации и чёрных дыр с помощью теории Гипервселенной / Р.В. Хачатуров // XL академические чтения по космонавтике, Москва, 26–29 янв. 2016 г.: сб. тез. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. – С. 153–155.*
10. *Хачатуров, Р.В. Объяснение особенностей крупномасштабного расположения квазаров во Вселенной теорией Гипервселенной / Р.В. Хачатуров // Идеи К.Э. Циолковского в инновациях науки и техники: материалы 51-х науч. чтений памяти К.Э. Циолковского, Калуга, 1 сент. 2016 г. – Калуга: Эйдос, 2016. – С. 264–266.*
11. *Хачатуров, Р.В. Закономерности расположения квазаров в крупномасштабной структуре Гипервселенной / Р.В. Хачатуров // XLI академические чтения по космонавтике, Москва, 24–27 янв. 2017 г.: сб. тез. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – С. 192–194.*
12. *Хачатуров, Р.В. Обмен материей и энергией между параллельными вселенными с точки зрения теории Гипервселенной / Р.В. Хачатуров // Гагаринский сборник: материалы XLIV обществ.-науч. чтений, посвящ. памяти Ю.А. Гагарина, Гагарин, 9–12 марта 2017 г. – Гагарин: БФ Мемориал. музея Ю.А. Гагарина, 2017. – С. 426–451.*
13. *Хачатуров, Р.В. Динамика изменения размера Вселенной и природа гравитации в соответствии с математической моделью и теорией Гипервселенной / Р.В. Хачатуров // Моделирование коэволюции природы и общества: проблемы и опыт. К 100-летию со дня рождения академика Н.Н. Моисеева (Моисеев-100): тр. всерос. науч. конф., Москва, 7–10 нояб. 2017 г. – М.: ФИЦ ИУ РАН, 2017. – С. 93–102.*

14. *Хачатуров, Р.В. О многомерности времени с точки зрения теории Гипервселенной / Р.В. Хачатуров // Актуальные проблемы космонавтики: тр. XLII академ. чтений по космонавтике, Москва, 23–26 янв. 2018 г. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. – С. 175–176.*
15. *Хачатуров, Р.В. О многомерности и замкнутости времени с точки зрения теории Гипервселенной / Р.В. Хачатуров // Научное наследие и развитие идей К.Э. Циолковского: материалы 54-х науч. чтений памяти К.Э. Циолковского, Калуга, 17–19 сент. 2019 г.: в 2 ч. – Калуга: Политоп, 2019. – Ч. 2. – С. 206–210.*
16. *Khachaturov, R.V. Theoretical Possibility of Transferring Matter Between Parallel Universes in Accordance with the Hyperuniverse Theory / R.V. Khachaturov // AIP Conference Proceedings. – 2019. – Vol. 2171. – 090001.*
17. *Хачатуров, Р.В. Теория Гипервселенной о структуре многомерного замкнутого времени / Р.В. Хачатуров // XLIV академические чтения по космонавтике, Москва, 28–31 янв. 2020 г.: сб. тез.: в 2 т. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020. – Т. 1. – С. 449–451.*
18. *Хачатуров, Р.В. Теория Гипервселенной о зарождении, эволюции и гибели галактик / Р.В. Хачатуров // Мир и наука в XXI веке: глобальные вызовы и риски: материалы междунар. науч.-практ. конф. – М.: Изд-во МНЭПУ, 2020. – С. 99–113.*
19. *Хачатуров, Р.В. Многомерная тороидальная структура времени в соответствии с теорией Гипервселенной / Р.В. Хачатуров // Научное значение трудов К.Э. Циолковского: история и современность: материалы 55-х науч. чтений памяти К.Э. Циолковского, Калуга, 15–17 сент. 2020 г.: в 2 ч. – Калуга: Эйдос, 2020. – Ч. 2. – С. 106–112.*
20. *Хачатуров, Р.В. Теория Гипервселенной о свойствах многомерного тороидального времени / Р.В. Хачатуров // Мир и наука в XXI веке: глобальные вызовы и риски: материалы второй междунар. науч.-практ. конф., Москва, 27 янв. 2021 г. – М.: Изд-во МНЭПУ, 2021. – С. 131–143.*
21. *Хачатуров, Р.В. Теория Гипервселенной об обмене материей и энергией между параллельными вселенными и природе гравитации / Р.В. Хачатуров // Мир и наука в XXI веке: глобальные вызовы и риски: материалы третьей междунар. науч.-практ. конф., Москва, 18 февр. 2021 г. – М.: Изд-во МНЭПУ, 2021. – С. 201–221.*
22. *Хачатуров, Р.В. Теория Гипервселенной о возможности перемещения в многомерном времени / Р.В. Хачатуров // Моисеев Н.Н. о России в XXI веке: глобальные вызовы, риски и решения: сб. основных докл. XXVIII Моисеевских чтений – междунар. науч.-практ. конф., Москва, 2–6 марта 2020 г.: в 2 ч. – М.: НГПУ им. К. Минина, 2021. – Ч. 2. – С. 83–89.*
23. *Хачатуров, Р.В. Основные возможные этапы освоения космического пространства человечеством в соответствии с теорией Гипервселенной / Р.В. Хачатуров // Парадигма. – 2021. – N° 2. – С. 12–20.*
24. *Хачатуров, Р.В. Жизненный цикл галактик в соответствии с теорией Гипервселенной / Р.В. Хачатуров // XLV академические чтения по космонавтике, Москва, 30 марта – 2 апр. 2021 г.: сб. тез.: в 4 т. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. – Т. 2. – С. 211–214.*
25. *Хачатуров, Р.В. Моделирование перспективных способов перемещения в космическом пространстве в соответствии с теорией Гипервселенной / Р.В. Хачатуров // Вестник международного института рынка. – 2021. – N° 2. – С. 178–185.*
26. *Хачатуров, Р.В. О возможности использования локального искривления пространства для перемещения во Вселенной в соответствии с теорией Гипервселенной / Р.В. Хачатуров // Вестник МНЭПУ. – 2021. – N° S1. – С. 291–300.*
27. *Khachaturov, R.V. General Structure of Multidimensional Closed Time from the Hyperuniverse Theory Point of View / R.V. Khachaturov // AIP Conference Proceedings. – 2021. – Vol. 2318. – 080003.*
28. *Хачатуров, Р.В. Теория Гипервселенной о сверхсветовом способе перемещения в космическом пространстве / Р.В. Хачатуров // К.Э. Циолковский и прогресс науки и техники в XXI веке: материалы 56-х науч. чтений, посвящ. разработке науч. наследия и развитию идей К.Э. Циолковского, Калуга, 21–23 сент. 2021 г.: в 2 ч. – Калуга: Эйдос, 2021. – Ч. 2. – С. 94–103.*
29. *Хачатуров, Р.В. Об освоении космического пространства с точки зрения теории Гипервселенной / Р.В. Хачатуров // Освоение космоса и проблемы экоориентированного развития человека, природы и многополярной цивилизации: материалы II ежегод. междунар. конф., Москва, 15 апр. 2022 г. – М.: РЭУ им. Г.В. Плеханова, 2022. – С. 48–56.*
30. *Хачатуров, Р.В. Теория Гипервселенной о стратегии и философии освоения космоса человечеством / Р.В. Хачатуров // Россия в XXI веке: образование как важный цивилизационный институт развития и формирования российской культурно-исторической идентичности: сб. докл. и материалов XXX Моисеевских чтений – науч.-практ. конф., Москва, 24–25 марта 2022 г. – М.: Изд-во МНЭПУ, 2022. – С. 222–232.*
31. *Хачатуров, Р.В. Метод множества эквивалентности и математическое моделирование в комплексном освоении космоса согласно теории Гипервселенной / Р.В. Хачатуров // Вестник МИР. – 2022. – N° 2. – С. 103–110.*
32. *Хачатуров, Р.В. О необходимости теоретических и практических исследований космоса согласно теории Гипервселенной / Р.В. Хачатуров // К.Э. Циолковский. История и современность: материалы 57-х науч. чтений, посвящ. разработке науч. наследия и развитию идей К.Э. Циолковского, Калуга, 20–22 сент. 2022 г.: в 2 ч. – Калуга: Эйдос, 2022. – Ч. 2. – С. 122–127.*
33. *Хачатуров, Р.В. Теория Гипервселенной о прошлом и будущем нашей Вселенной / Р.В. Хачатуров // К.Э. Циолковский. История и современность: материалы 57-х науч. чтений, посвящ. разработке науч. наследия и развитию идей К.Э. Циолковского, Калуга, 20–22 сент. 2022 г.: в 2 ч. – Калуга: Эйдос, 2022. – Ч. 2. – С. 141–148.*
34. *Хачатуров, Р.В. О возможностях применения метода множества эквивалентности при освоении космического пространства для решения различных возникающих задач / Р.В. Хачатуров // Никита Моисеев и современный мир. К 30-летию научной школы и МНЭПУ: докл. и материалы конф., Москва, 10 нояб. 2022 г. – М.: Рос. акад. наук, 2023. – С. 141–150.*
35. *Хачатуров, Р.В. Математическое моделирование и методы определения параметров многослойных наноструктур по угловому спектру интенсивности отражённого рентгеновского излучения / Р.В. Хачатуров // Математическое моделирование композиционных объектов: сб. ст. – М.: Вычисл. центр РАН, 2007. – С. 115–130.*
36. *Хачатуров, Р.В. Прямая и обратная задачи определения параметров многослойных наноструктур по угловому спектру интенсивности отражённого рентгеновского излучения / Р.В. Хачатуров // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2009. – Т. 49, N° 10. – С. 1860–1867.*
37. *Хачатуров, Р.В. Прямая и обратная задачи исследования свойств многослойных наноструктур по двумерной математической модели отражения и рассеяния рентгеновского излучения / Р.В. Хачатуров // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2014. – Т. 54, N° 6. – С. 977–987.*
38. *Хачатуров, Р.В. Прямая и обратная задачи исследования процесса самофокусировки рентгеновских импульсов в плазме / Р.В. Хачатуров // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2020. – Т. 60, N° 2. – С. 323–337.*
39. *Андреев, А.В. Самофокусировка импульсного рентгеновского излучения в плазме / А.В. Андреев, Р.В. Хачатуров // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика. Астрономия. – 1995. – Т. 36, N° 3. – С. 25–33.*
40. *Fractal Scattering of Microwaves from Soils / K. Oleschko [et al.] // Physical Review Letters. – 2002. – Vol. 89, iss. 18. – 188501.*
41. *Fedotov, P.S. A New Approach to Describing the Regularities of Stationary Phase Retention in Countercurrent Chromatography / P.S. Fedotov, R.V. Khachaturov // Journal of Liquid Chromatography and Related Technologies. – 2000. – Vol. 23, iss. 5. – P. 655–667.*
42. *Curvature Analysis Applied to the Cantarell Structure, Southern Gulf of Mexico: Implications for Hydrocarbon Exploration / J.J. Mandujano [et al.] // Computers & Geosciences. – 2005. – Vol. 31, iss. 5. – P. 641–647.*
43. *Хачатуров, Р.В. Вычислительный метод исследования процесса самофокусировки рентгеновского излучения в плазме / Р.В. Хачатуров // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1996. – Т. 36, N° 1. – С. 103–111.*
44. *Хачатуров, Р.В. Математическое моделирование самофокусировки осесимметричных рентгеновских импульсов в плазме / Р.В. Хачатуров // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1999. – Т. 39, N° 12. – С. 2086–2097.*
45. *Computer Simulation of Microwave Propagation in Heterogeneous and Fractal Media / G. Korvin [et al.] // Computers & Geosciences. – 2017. – Vol. 100. – P. 156–165.*
46. *Khachaturov, V.R. Supermodular Programming on Lattices / V.R. Khachaturov, R.V. Khachaturov, R.V. Khachaturov // Computer Science Journal of Moldova. – 2003. – Vol. 11, No. 1 (31). – P. 43–72.*
47. *Хачатуров, В.Р. Решётка кубов и супермодулярная оптимизация / В.Р. Хачатуров, Р.В. Хачатуров // Функциональные пространства. Дифференциальные операторы. Общая топология. Проблемы математического образования: тез. докл. третьей междунар. конф., Москва, 25–28 марта 2008 г. – М.: МФТИ, 2008. – С. 248–257.*
48. *Хачатуров, В.Р. Решётка кубов / В.Р. Хачатуров, Р.В. Хачатуров // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2008. – N° 1. – С. 45–51.*
49. *Хачатуров, Р.В. Алгоритмы построения решёток кубов и их применение в дискретной оптимизации / Р.В. Хачатуров // VI Моск. междунар. конф. по исследованию операций, Москва, 19–23 окт. 2010 г.: тр. – М.: МАКС Пресс, 2010. – С. 254–255.*

50. *Хачатуров, В.Р. Оптимизация супермодулярных функций (супермодулярное программирование) / В.Р. Хачатуров, Р.В. Хачатуров, Р.В. Хачатуров // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2012. – Т. 52, № 6. – С. 999–1000.*

51. *Хачатуров, Р.В. Основные свойства решёток кубов, алгоритмы их построения и возможности применения в дискретной оптимизации / Р.В. Хачатуров // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2015. – Т. 55, № 1. – С. 121–134.*

52. *Хачатуров, Р.В. Однокритериальная и многокритериальная оптимизация на решётке кубов / Р.В. Хачатуров // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2018. – № 5. – С. 89–98.*

53. *Хачатуров, Р.В. Многокритериальная оптимизация в псевдометрическом пространстве критериев на примере общей модели деятельности предприятия / Р.В. Хачатуров // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2016. – Т. 56, № 9. – С. 1602–1613.*

54. *Хачатуров, Р.В. Применение метода множества эквивалентности для решения задач многокритериальной оптимизации и обратных задач математической физики / Р.В. Хачатуров // Проблемы информатики. – 2019. – № 4 (45). – С. 7–32.*

55. *Хачатуров, Р.В. Обобщённый метод множества эквивалентности для решения задач многокритериальной оптимизации / Р.В. Хачатуров // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2020. – № 1. – С. 109–118.*

56. *Khachaturov, R.V. Inverse Problem for a Distributed System from Pulse Technology / R.V. Khachaturov // Journal of Computer and Systems Sciences International. – 2023. – Vol. 62, No. 6. – P. 991–1010.*

57. *Khachaturov, R.V. The Galaxies Life Cycle According to the Hyperuniverse Theory / R.V. Khachaturov // AIP Conference Proceedings. – 2023. – Vol. 2549. – 090003.*

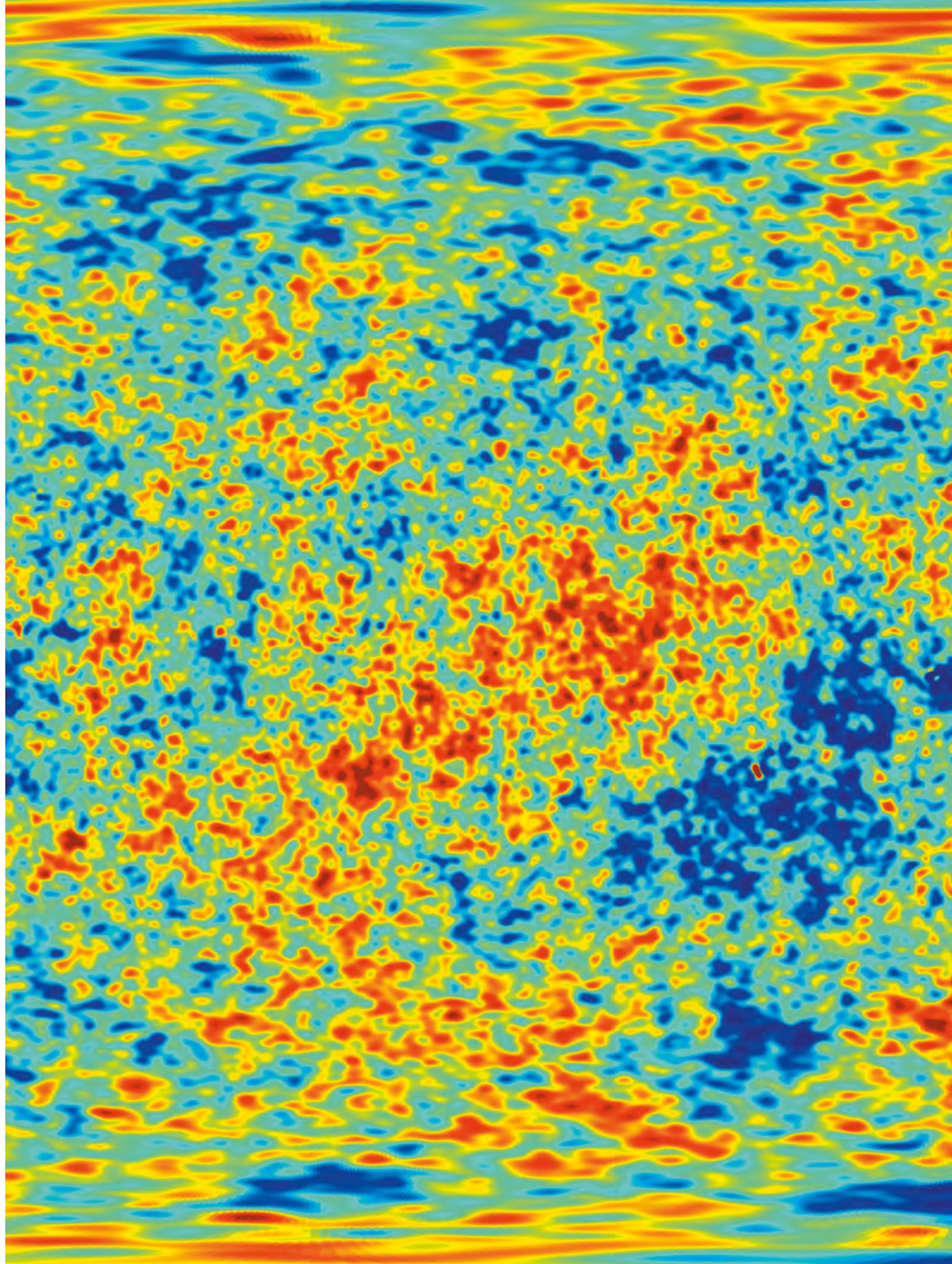
58. *Хачатуров, Р.В. Обратная задача для распределённой системы из импульсной техники / Р.В. Хачатуров // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2024. – № 2. – С. 84–106.*

59. *Юницкий, А.Э. Создание математической модели общепланетарного транспортного средства: разгон маховиков, прохождение атмосферы, выход на орбиту / А.Э. Юницкий, Р.А. Шаршов, А.А. Абакумов // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 77–83.*

60. *Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 12 сент. 2020 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – 516 с.*

61. *Юницкий, А.Э. Инженер: автобиография / Анатолий Юницкий. – Минск: Белпринт, 2021. – 400 с.: ил.*

62. *Unitsky, A. System Foundations of Non-Rocket Near Space Industrialization: Problems, Ideas, Projects / A. Unitsky. – Minsk: Gradient, 2021. – 568 p.*



УДК 510.52+629.78

Система управления движением линейных роторов общепланетарного транспортного средства

А.Э. Юницкий[1, 2]
доктор философии транспорта

В.Л. Лукша[2]

[1] ООО «Астроинженерные технологии»,
г. Минск, Беларусь

[2] ЗАО «Струнные технологии»,
г. Минск, Беларусь

Проект общепланетарного транспортного средства (ОТС) глобален по своему масштабу и не имеет аналогов в истории земной цивилизации. Ключевым моментом для успешного выхода ОТС на экваториальную орбиту является функциональная возможность разгона системы линейных роторов до космических скоростей – не менее 12 км/с. Данная система состоит из большого количества однотипных модулей, предназначенных для удержания роторов в вакуумном канале, а также модулей линейных тяговых электродвигателей, обеспечивающих начальный разгон роторов и перераспределение кинетической энергии между роторами и корпусом ОТС. Плановый разгон и торможение ОТС невозможны без централизованной системы управления движением роторов. В настоящий момент не существует готовых решений, способствующих безопасности и безотказности системы управления гиперскоростными роторами ОТС, имеющими длину земного экватора – около 40 000 км.

Цель настоящей статьи – создание математической модели для нахождения функций, вычисляющих радиальное и тангенциальное изменение скорости оболочки ОТС во время полётов, а также функции, определяющей закон изменения высоты полёта ОТС.

Предложенная авторами система управления представляет собой сложный программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий все необходимые режимы работы роторного узла.

Результаты моделирования формируют алгоритмы функционирования программно-аппаратного комплекса системы управления роторами ОТС и могут служить основой для дальнейшей детализированной проработки компонентной базы.

Ключевые слова:
выход на орбиту, космическое индустриальное ожерелье «Орбита» (КИО «Орбита»), математическая модель, общепланетарное транспортное средство (ОТС), радиальное ускорение, система управления линейными двигателями.

UDC 510.52+629.78

Motion Control System of Linear Rotors in General Planetary Vehicle

A. Unitsky[1, 2]
Dr. of Philosophy
in Information Technologies
(Transport)

V. Looksha[2]

[1] Astroengineering Technologies LLC,
Minsk, Belarus

[2] Unitsky String Technologies Inc.,
Minsk, Belarus

The project of the General Planetary Vehicle (GPV) is global in scope and has no analogs in the history of Earth's civilization. A key factor for the successful transition of the GPV to the equatorial orbit is its ability to accelerate linear rotors' system to space velocity – at least 12 km/s. This system consists of numerous identical modules designed to maintain the rotors within the vacuum channel, as well as modules equipped with linear thrust motors that provide initial acceleration for the rotors and redistribute kinetic energy between the rotors and the body of the GPV. Scheduled acceleration and braking of the GPV are impossible without a centralized rotor motion control system. Currently, there are no ready-made solutions that ensure the safety and reliability of the control system for the hypervelocity rotors of the GPV which spans the length of the Earth's equator – about 40,000 km.

The purpose of this paper is to develop a mathematical model that finds functions for calculating the radial and tangential changes in the velocity of the GPV shell during flight, as well as a function to determine the law governing the change in the GPV flight altitude.

The control system proposed by the authors is a sophisticated hardware and software complex that enables all necessary operating modes of the rotor unit.

The simulation results form the algorithms for the hardware and software complex of the GPV rotor control system and can serve as a foundation for further detailed development of the component base.

Keywords:
General Planetary Vehicle (GPV), Industrial Space Necklace "Orbit" (ISN "Orbit"), linear motors control system, mathematical model, orbit insertion, radial acceleration.

Введение

Основная функция общепланетарного транспортного средства (ОТС) – подъём и стыковка с космическим индустриальным ожерельем «Орбита» (КИО «Орбита»), размещённым на круговой экваториальной орбите, а также спуск на Землю и стыковка с экваториальной взлётно-посадочной эстакадой. Конструкция ОТС позволяет не только подниматься на высоту околоземной орбиты, с первой космической скоростью транспортируя пассажиров и грузы, но и оставаться на заданной высоте требуемое время (с нулевой скоростью относительно КИО «Орбита»), затем возвращаться на поверхность планеты (с нулевой скоростью относительно эстакады) и повторять этот цикл многократно [1].

В составе конструкции ОТС имеются два линейных маховика-ротора, приводимых в движение двумя линейными электродвигателями. Совокупность маховиков и линейных двигателей представляет собой движитель ОТС и аккумулятор энергии, необходимой для функционирования геокосмического транспортного комплекса в целом [2].

Система управления линейными двигателями должна принимать данные о ряде параметров, задаваемых центром управления полётами и принимаемых от датчиков. Проанализировав полученную информацию, в режиме реального времени она формирует сигналы для управления двигателями каждого линейного маховика. Двигатели, отрабатывая принятый сигнал, обеспечивают требуемые параметры полёта ОТС: скорость и ускорение фрагментов оболочки, а также ОТС в целом.

Глобальная задача настоящей работы – представить математическое обеспечение, необходимое для программирования системы управления полётами ОТС.

Цель – создание математической модели для нахождения функций, вычисляющих изменение радиальной и тангенциальной составляющих скорости оболочки ОТС во время полётов, а также функции, определяющей закон изменения высоты подъёма ОТС.

Таким образом, в данной статье речь пойдёт об алгоритме действий математического аппарата – мозга системы управления.

Постановка задачи

Для вычисления функции управления двигателями необходимо знать закон изменения координат оболочки ОТС при выполнении полёта. В свою очередь, закон движения оболочки нужно вычислить исходя из допустимых перегрузок во время подъёма ОТС, а также из высоты орбиты КИО «Орбита», удельных масс и скоростей линейных маховиков, массы оболочки и полезной нагрузки.

На данном этапе разработки следует получить законы радиального и тангенциального перемещения оболочки ОТС.

Исходные данные и допущения

В качестве исходных данных приняты значения переменных и констант [3], представленные в таблице.

Таблица – Исходные данные для расчёта

Параметр	Значение
Переменные	
Положение орбиты, φ, °	0
Целевая высота орбиты, h_0, м	400 000
Высота эстакады, h, м	10
Радиальное ускорение оболочки на интервале $t0$–$t1$, A_{R0_1}, м/с^2	0,03
Радиальное ускорение оболочки на интервале $t1$–$t2$, A_{R1_2}, м/с^2	0,03
Радиальное ускорение оболочки на интервале $t3$–$t4$, A_{R3_4}, м/с^2	0,03
Радиальное ускорение оболочки на интервале $t4$–$t5$, A_{R4_5}, м/с^2	0,03
Максимально допустимое тангенциальное ускорение оболочки, A_T, м/с^2	3
Максимально допустимое радиальное ускорение оболочки, A_R, м/с^2	2
Относительная стартовая скорость ротора 1, V_1, м/с	15 600
Относительная стартовая скорость ротора 2, V_2, м/с	2
Относительная стартовая скорость оболочки, V_{shell}, м/с	0
Начальная вертикальная скорость на взлёте, V_{RV0}, м/с	0
Конечная вертикальная скорость на взлёте, V_{RV2}, м/с	0
Время пребывания на орбите, T_{R2_3}, с	3000
Начальная вертикальная скорость на спуске, V_{RV3}, м/с	0
Конечная вертикальная скорость на спуске, V_{RV5}, м/с	0
Константы	
Гравитационная постоянная, G, м^3/кг·с^2	$6{,}6743 \times 10^{-11}$
Масса Земли, M_{Earth}, кг	$5{,}9723 \times 10^{24}$
Экваториальный радиус Земли, R_{Earth}, м	6 378 137
Ускорение свободного падения на экваторе, g, м/с^2	9,807

На начальном этапе решения задачи введён ряд упрощающих допущений, которые на результате расчёта скажутся незначительно. На последующих стадиях разработки математической модели эти допущения будут сняты и точность расчётов увеличится [4].

Кроме того, не брались во внимание изменения ускорения свободного падения и первой космической скорости в зависимости от высоты полёта ОТС. Широта расположения взлётно-посадочной эстакады принята равной нулю. В дальнейшем исследовании математическая модель будет получать значение широты и учитывать изменение центробежного ускорения, связанного с вращением Земли вокруг своей оси. Приняты равными нулю прецессия и нутация оси вращения Земли и другие параметры, влияющие на функцию управления двигателями на этапе снижения. Не учтены изменения моментов импульса роторов и оболочки от высоты полёта ОТС, а также аэродинамическое сопротивление атмосферы.

Расчёт параметров, необходимых для вычисления функции высоты полёта ОТС от времени

Весь полётный цикл можно разбить на пять условных временных интервалов ($t0$–$t5$). На интервале $t0$–$t1$ ОТС производит отрыв от взлётно-посадочной эстакады и набирает высоту с увеличивающейся вертикальной (радиальной) скоростью. На интервале $t1$–$t2$ продолжается набор высоты, но вертикальная скорость плавно уменьшается – вплоть до нуля на момент стыковки с КИО «Орбита». На интервале $t2$–$t3$ ОТС пребывает в космосе, жёстко состыковавшись с КИО «Орбита». Это время может быть любым (в расчёте принято 3000 с). С момента $t3$ ОТС начинает снижение, которое на интервале $t3$–$t4$ происходит с нарастающей вертикальной скоростью. К $t4$ ОТС развивает максимальную вертикальную скорость, равную 110 м/с. На интервале $t4$–$t5$ осуществляется снижение вертикальной скорости. В условной точке $t5$ вертикальная скорость ОТС равна нулю, а высота полёта составляет 1 м (относительно взлётно-посадочной полосы, размещённой сверху эстакады). ОТС готово к посадке.

Для задания функции изменения высоты на всём полётном цикле необходимо предварительно вычислить ряд параметров.

Время ускорения на взлёте на интервале $t0$–$t1$:

$$T_{R0_1} = \sqrt{\frac{h_0}{A_{R0_1}}} = \sqrt{\frac{400\,000}{0{,}03}} = 3651{,}5 \text{ с}. \quad (1)$$

Вертикальная скорость в момент $t1$:

$$V_{RV1} = V_{RV0} + A_{R0_1} T_{R0_1} = 0 + 0{,}03 \times 3651{,}5 = 109{,}545 \text{ м/с}. \quad (2)$$

Радиальное ускорение на интервале $t0$–$t1$:

$$A_{V0_1} = \frac{V_{RV1} - V_{RV0}}{T_{R0_1}} = \frac{109{,}545 - 0}{3651{,}5} = 0{,}03 \text{ м/с}^2. \quad (3)$$

Продолжительность замедления на взлёте на интервале $t1$–$t2$:

$$T_{R1_2} = \frac{V_{RV1} - V_{RV2}}{A_{R1_2}} = \frac{109{,}545 - 0}{0{,}03} = 3651{,}5 \text{ с}. \quad (4)$$

Продолжительность взлёта:

$$T_{R0_2} = T_{R0_1} + T_{R1_2} = 3651{,}5 + 3651{,}5 = 7303 \text{ с}. \quad (5)$$

Радиальное ускорение на интервале $t1$–$t2$:

$$A_{V1_2} = \frac{V_{RV2} - V_{RV1}}{T_{R0_2} - T_{R0_1}} = \frac{0 - 109{,}545}{7303 - 3651{,}5} = -0{,}03 \text{ м/с}^2. \quad (6)$$

Время начала спуска ОТС с орбиты:

$$T_{R0_3} = T_{R0_2} + T_{R2_3} = 7303 + 3000 = 10\,303 \text{ с}. \quad (7)$$

Продолжительность радиального ускорения на спуске на интервале $t3$–$t4$:

$$T_{R3_4} = \sqrt{\frac{h_0}{A_{R3_4}}} = \sqrt{\frac{400\,000}{0{,}03}} = 3651{,}5 \text{ с}. \quad (8)$$

Время начала радиального замедления на спуске:

$$T_{R0_4} = T_{R0_3} + T_{R3_4} = 10\,303 + 3651{,}5 = 13\,954{,}5 \text{ с}. \quad (9)$$

Вертикальная скорость в момент $t4$:

$$V_{RV4} = V_{RV3} + A_{R3_4} T_{R3_4} = 0 + 0{,}03 \times 3651{,}5 = 109{,}545 \text{ м/с}. \quad (10)$$

Радиальное ускорение на интервале $t3$–$t4$:

$$A_{V3_4} = \frac{V_{RV4} - V_{RV3}}{T_{R0_4} - T_{R0_3}} = \frac{109{,}545 - 0}{13\,954{,}5 - 10\,300} = 0{,}03 \text{ м/с}^2. \quad (11)$$

Продолжительность радиального замедления на спуске на интервале $t4$–$t5$:

$$T_{R4_5} = \frac{V_{RV4} - V_{RV5}}{A_{R4_5}} = \frac{109{,}545 - 0}{0{,}03} = 3651{,}5 \text{ с}. \quad (12)$$

Время посадки на эстакаду в момент $t5$:

$$T_{R0_5} = T_{R0_4} + T_{R4_5} = 13\,954{,}5 + 3651{,}5 = 17\,606 \text{ с}. \quad (13)$$

Радиальное ускорение на интервале $t4–t5$:

$$A_{V4_5} = \frac{V_{RV5} - V_{RV4}}{T_{R0_5} - T_{R0_4}} = \frac{0 - 109{,}545}{17\,606 - 13\,954{,}5} = -0{,}03 \text{ м/с}^2. \quad (14)$$

Значения параметров полёта позволяют задать и вычислить функцию изменения высоты полёта ОТС.

Вычисление функции высоты полёта ОТС от времени

Функция высоты полёта ОТС от времени выглядит следующим образом:

$$h(t) = \begin{cases} \frac{A_{R0_1} t^2}{2}, \text{ если } t < T_{R0_1}; \\ V_{RV1} t - \frac{A_{R1_2} T_{R0_1}^{\ 2}}{2} - \frac{A_{R1_2} (t - T_{R0_1})^2}{2}, \text{ если } T_{R0_1} < t < T_{R0_2}; \\ h_0, \text{ если } T_{R0_2} < t < T_{R0_3}; \\ h_0 - \frac{A_{R3_4} (t - T_{R0_3})^2}{2}, \text{ если } T_{R0_3} < t < T_{R0_4}; \\ \frac{h_0}{2} - \left(V_{RV4} (t - T_{R0_4}) - \frac{A_{R4_5} (t - T_{R0_4})^2}{2} \right), \text{ если } T_{R0_4} < t < T_{R0_5}. \end{cases} \quad (15)$$

Функция решена с помощью программного обеспечения Mathcad 15. График функции при принятых исходных данных имеет вид, представленный на рисунке 1.

Линейные электродвигатели, управляемые в соответствии с полученной функцией, позволят осуществить плавный подъём и спуск, как показано на рисунке 1.

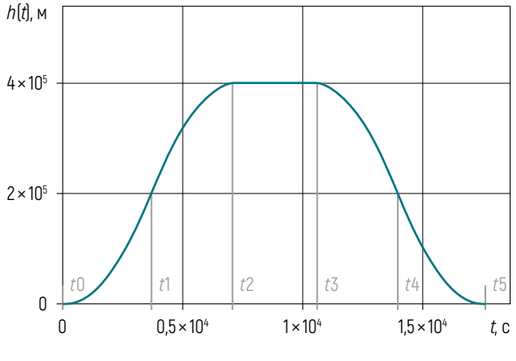


Рисунок 1 – График функции высоты полёта ОТС от времени (за один полётный цикл)

Вычисление функции радиальной скорости оболочки ОТС от времени

На протяжении полётного цикла ОТС дважды ускоряется и замедляется в радиальном направлении.

Функция, задающая радиальную скорость оболочки ОТС от времени, выглядит следующим образом:

$$V_R(t) = \begin{cases} V_{RV0} + A_{V0_1} t, \text{ если } t < T_{R0_1}; \\ V_{RV1} + A_{V1_2} (t - T_{R0_1}), \text{ если } T_{R0_1} < t < T_{R0_2}; \\ V_{RV3}, \text{ если } T_{R0_2} < t < T_{R0_3}; \\ V_{RV3} + A_{V3_4} (t - T_{R0_3}), \text{ если } T_{R0_3} < t < T_{R0_4}; \\ V_{RV4} + A_{V4_5} (t - T_{R0_4}), \text{ если } T_{R0_4} < t < T_{R0_5}. \end{cases} \quad (16)$$

Функция может иметь различный вид, что обусловлено характером изменения ускорения. При приращении ускорения («рывке»), равном нулю, график функции принимает вид, представленный на рисунке 2.

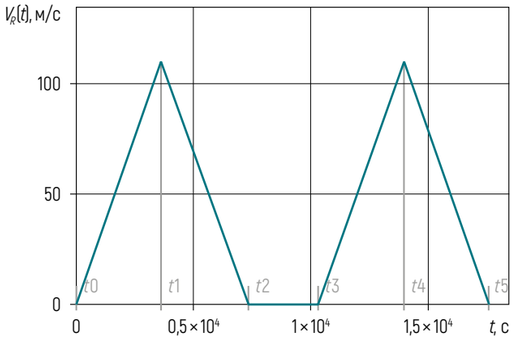


Рисунок 2 – Радиальная скорость оболочки ОТС в равноускоренном режиме

На интервалах $t0–t1$ и $t3–t4$ происходит равномерный набор вертикальной скорости. На $t0–t1$ скорость направлена от центра Земли, на $t3–t4$ – к центру. В моментах $t1$ и $t4$ ускорение меняет знак на противоположный: с $A_{V0_1} = 0{,}03$ м/с² на $A_{V1_2} = -0{,}03$ м/с². Начинается интервал торможения. В это время пассажиры испытают лёгкий толчок и ощутят уменьшение своего веса. В реальной жизни изменение ускорения будет происходить плавно. Для решения функции в таком случае необходимо рассчитать несколько дополнительных параметров.

Приращение ускорения («рывок») оболочки на интервале $t0–t1$:

$$J_{R0_1} = \frac{A_{R0_1}}{T_{R0_1}} = \frac{0{,}03}{3651{,}5} = 8{,}216 \times 10^{-6} \text{ м/с}^3. \quad (17)$$

Приращение ускорения оболочки на интервале $t1–t2$:

$$J_{R1_2} = \frac{A_{R1_2}}{T_{R1_2}} = \frac{0{,}03}{3651{,}5} = 8{,}216 \times 10^{-6} \text{ м/с}^3. \quad (18)$$

Решение функции приобретает вид, приведённый на рисунке 3.

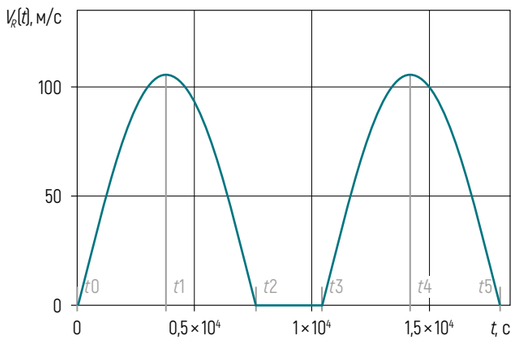


Рисунок 3 – Радиальная скорость оболочки ОТС в режиме плавно меняющегося ускорения

Как видим, изменение скорости происходит плавно. С приближением моментов $t1$ и $t4$ радиальное ускорение начинает уменьшаться и по их достижении становится равным нулю. После прохождения точек $t1$ и $t4$ ускорение меняет знак на отрицательный и радиальная скорость падает – вплоть до нуля по достижении моментов $t2$ и $t5$.

Расчёт параметров, необходимых для вычисления функции тангенциальной скорости оболочки ОТС от времени

ОТС во время подъёма приобретает не только вертикальную (радиальную) скорость, но и горизонтальную (тангенциальную). За время подъёма на заданную высоту оболочка ОТС должна приобрести тангенциальную скорость, равную первой космической для этой высоты. Для задания функции изменения тангенциальной скорости следует предварительно вычислить ряд параметров.

Тангенциальное ускорение оболочки на интервале $t0–t1$:

$$A_{T0_1} = \frac{\frac{V_{1cosmic}}{2} - V_{TV0}}{T_{R0_1}} = \frac{\frac{7669}{2} - 0}{3651{,}5} = 1{,}05 \text{ м/с}^2. \quad (19)$$

Приращение ускорения оболочки на интервале $t0–t1$:

$$J_{T0_1} = \frac{A_{T0_1}}{T_{R0_1}} = \frac{1{,}05}{3651{,}5} = 2{,}9 \times 10^{-4} \text{ м/с}^3. \quad (20)$$

Тангенциальное ускорение оболочки на интервале $t1–t2$:

$$A_{T1_2} = \frac{V_{TV2} - \frac{V_{1cosmic}}{2}}{T_{R1_2}} = \frac{7669 - \frac{7669}{2}}{3651{,}5} = 1{,}05 \text{ м/с}^2. \quad (21)$$

Приращение ускорения оболочки на интервале $t1–t2$:

$$J_{T1_2} = \frac{-A_{T1_2}}{T_{R1_2}} = \frac{-1{,}05}{3651{,}5} = -2{,}9 \times 10^{-4} \text{ м/с}^3. \quad (22)$$

Продолжительность нарастания тангенциального ускорения на интервале $t1–t2$:

$$T_{T0_1} = \frac{\frac{V_{TV2}}{2} - V_{TV0}}{A_{T0_1}} = \frac{\frac{7669}{2} - 0}{1{,}05} = 3651{,}9 \text{ с}. \quad (23)$$

Продолжительность разгона оболочки ОТС:

$$T_{T1_2} = T_{T0_1} + \frac{V_{TV2} - \frac{V_{TV2}}{2}}{A_{T1_2}} = 3651{,}9 + \frac{7669 - \frac{7669}{2}}{1{,}05} = 7303{,}8 \text{ с}. \quad (24)$$

Вычисление функции тангенциальной скорости оболочки ОТС от времени

Функция горизонтальной (тангенциальной) скорости оболочки ОТС от времени выглядит следующим образом:

$$V_T(t) = \begin{cases} \frac{A_{T0_1} t^2}{2} \times \frac{1}{\text{с}}, \text{ если } t < T_{T0_1}; \\ \left(\frac{V_{TV2}}{2} t - \frac{A_{T1_2} T_{T0_1}^{\ 2}}{2} - \right. \\ \left. - \frac{A_{T1_2} (t - T_{T0_1})^2}{2} \right) \frac{1}{\text{с}}, \text{ если } T_{T0_1} < t < T_{T1_2}; \\ V_T(T_{T1_2} - 1\text{с}), \text{ если } t > T_{T1_2}. \end{cases} \quad (25)$$

Решение функции горизонтальной (тангенциальной) скорости оболочки ОТС от времени представлено на рисунке 4.

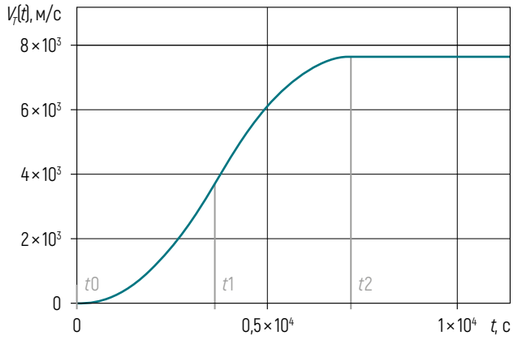


Рисунок 4 – График функции горизонтальной скорости ОТС от времени

$$V_T(T_{T1_2} - 1\text{с}) = V_T(7303{,}8 - 1) = 7609 \text{ м/с}; \quad (26)$$

$$V_{1cosmic} = \sqrt{\frac{GM_{Earth}}{R_{Earth} + h_0}} =$$

$$= \sqrt{\frac{6{,}6743 \times 10^{-11} \times 5{,}9723 \times 10^{24}}{6\,378\,137 + 400\,000}} = 7669 \text{ м/с}. \quad (27)$$

Как видим, скорость оболочки во время выхода на заданную высоту (значение функции $V_T(t)$ в момент $t2$) равна 7609 м/с, что практически совпадает с реальным значением первой космической скорости для высоты 400 км – 7669 м/с.

Существенно повлиять на характеристики полёта ОТС могут только линейные двигатели. Следовательно, финальный результат работы математической модели системы управления – функции управления линейными двигателями, которых, т. е. фрагментов общего линейного электродвигателя, в составе ОТС в одном из вариантов исполнения может быть около 20 000. Для каждого из этих двигателей должна формироваться своя управляющая функция, принимающая дискретные значения. Двигатель будет работать в одном из трёх режимов: режим ускорения маховика относительно оболочки; режим рекуперативного торможения маховика; режим, при котором двигатель не станет оказывать воздействия на маховик. Оконечные каскады силовой электроники будут работать в ключевом режиме: для него характерна минимальная рассеиваемая мощность в каналах транзисторов, а значит, минимальные нагрев и потери энергии, что будет способствовать достижению одной из главных задач – приближению общего КПД силовой установки к 100 %.

Заключение

Расчёт, изложенный в данной статье, является первым этапом создания математической модели системы управления линейными электродвигателями линейных маховиков ОТС. Математическая модель, в свою очередь, послужит исходными данными для написания программного кода, под управлением которого многочисленные микропроцессоры и микроконтроллеры сделают полёты ОТС безопасной реальностью.

Следующий этап разработки математической модели – на основании законов движения оболочки выведение управляющих функций для линейных двигателей первого и второго маховиков. Эти функции должны учитывать продольные колебания, вызванные изменениями скоростей отдельных участков маховиков и оболочки вследствие эксцентриситета орбиты ОТС. Двигатели во время полёта будут стремиться свести к нулю эксцентриситет орбиты и стабилизировать изменение скорости фрагмента ОТС по его пути вокруг Земли. Кроме того, планируется добавить уравнения, учитывающие закон сохранения момента импульса роторов при изменении радиуса ОТС во время полётов и, соответственно, линейной плотности маховиков и корпуса на 1,57 % на каждые 100 км подъёма или спуска.

Список основных источников

1. *Юницкий, А.Э. В космос… на колесе / А.Э. Юницкий // Техника – молодёжи. – 1982. – № 6. – С. 34–36.*
2. *Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – 240 с.*
3. *Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 12 сент. 2020 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – 516 с.*
4. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Гомель: Инфотрибо, 1995. – 337 с.: ил.*



УДК 537.814+629.7

Разработка гибридного электромагнитного подвеса ротора общепланетарного транспортного средства

А.Э. Юницкий[1,2]
доктор философии транспорта

Ф.С. Карпей[2]

В.Л. Лукша[2]

[1] ООО «Астроинженерные технологии»,
г. Минск, Беларусь

[2] ЗАО «Струнные технологии»,
г. Минск, Беларусь

Использование в конструкции общепланетарного транспортного средства (ОТС) только электромагнитов для обеспечения работы линейного электродвигателя и ротора (подвес и движение с космическими скоростями) приводит к интенсивному энергопотреблению и тепловыделению, что в случае выхода из строя системы охлаждения (даже локального) может повлечь катастрофические последствия – отказ системы магнитного подвешивания и каскадное обрушение ОТС.

Применение исключительно постоянных магнитов вызывает сложности в регулировании магнитных полей, значит, управляемость ротора сводится к минимуму, поэтому есть вероятность его залипания при космических скоростях движения, что также может привести к катастрофе.

В связи с этим предложена гибридная конструкция подвеса, основанная на оптимальном сочетании постоянных магнитов с электромагнитами. Данное решение обеспечит стабильное саморегулируемое положение линейного ротора в вакуумном канале и его движение со скоростями 0–12 км/с при минимальном энергопотреблении и, соответственно, невысоком тепловыделении.

Ключевые слова:
магнитная левитация, магнитный подвес, общепланетарное транспортное средство (ОТС), ротор ОТС, электромагнитная стабилизация.

UDC 537.814+629.7

Development of Hybrid Electromagnetic Suspension for Rotor of General Planetary Vehicle

A. Unitsky[1,2]
Dr. of Philosophy
in Information Technologies
(Transport)

F. Karpey[2]

V. Looksha[2]

[1] Astroengineering Technologies LLC,
Minsk, Belarus

[2] Unitsky String Technologies Inc.,
Minsk, Belarus

Relying solely on electromagnets in the design of the General Planetary Vehicle (GPV) to power the linear electric motor and rotor (for suspension and movement at cosmic velocities) leads to significant power consumption and heat generation. In the event of a cooling system failure (even localized), this can result in catastrophic outcomes, i.e., the failure of the magnetic suspension system and a cascading collapse of the GPV.

Using only permanent magnets presents challenges in regulating magnetic fields, minimizing the rotor's controllability and increasing the risk of it becoming stuck at cosmic velocities, which could also lead to disaster.

To address these issues, a hybrid suspension design is proposed, optimally combining permanent magnets with electromagnets. This solution ensures a stable, self-regulating linear rotor position within the vacuum channel, allowing motion at speeds of 0–12 km/s with minimal energy consumption and reduced heat generation.

Keywords:
electromagnetic stabilization, General Planetary Vehicle (GPV), GPV rotor, magnetic levitation, magnetic suspension.

Введение

Общепланетарное транспортное средство (ОТС) – самонесущий летательный аппарат многоразового использования, который охватывает планету по экватору и позволяет осваивать ближний космос без применения ракет [1, 2]. Линейные роторы, разогнанные в вакуумных каналах до космических скоростей (10–12 км/с), обеспечивают подъёмную силу, требуемую для выполнения ОТС геокосмической логистики – выхода на экваториальные орбиты (с получением первой космической скорости движения корпуса вокруг планеты) и посадки на взлётно-посадочную эстакаду с нулевой скоростью относительно неё.

Во время торможения и разгона роторов линейные электродвигатели могут развивать мощность до 5000 кВт/м [2]. При этом общая мощность рекуперации энергии в ОТС в режиме выхода на орбиту, например, в течение 2 ч достигнет значения 200 млрд кВт. Следовательно, принципиально важной задачей является создание приводов линейных маховиков (роторов) с максимально высоким КПД, так как даже несколько процентов потерь могут привести к неприемлемому перегреву систем линейных электродвигателей и магнитных подвесов (каждый 1 % потерь соответствует не более 50 кВт тепловой мощности на 1 м длины ОТС).

Гибридный подвес, основанный на сочетании постоянных магнитов с электромагнитами, гарантирует максимально высокий КПД привода ОТС и самостабилизацию, что особенно важно в экстремальных режимах, например при локальных вертикальных перегрузках около 10*g* (на горных участках эстакады, где радиусы кривизны движения роторов могут быть меньше экваториального радиуса планеты в 10 раз). Постоянные магниты обеспечат базовый уровень подвеса, снизив потребление энергии, необходимой для поддержания ротора в заданном положении. Вместе с тем электромагниты позволят гибко управлять позиционированием ротора, компенсировать внешние возмущения и автоматически изменять характеристики подвеса в режиме реального времени.

Ключевое преимущество такой системы заключается в её способности сочетать низкие энергозатраты с высокой управляемостью. Это делает подвес особенно привлекательным для применения в ОТС, для которого стабильность и точность позиционирования ротора критически важны.

В настоящей работе анализируются основные принципы функционирования гибридного электромагнитного подвеса, специально сконструированного для ОТС. Рассматриваются преимущества и недостатки использования постоянных и электромагнитов, а также обсуждаются методы их интеграции и оптимизации. Особое внимание уделено вопросам взаимодействия компонентов системы, а также моделирования её характеристик при космических скоростях движения.

Целью настоящего исследования является создание эффективной и устойчивой системы гибридного подвеса, способной обеспечить высокую точность и надёжность работы роторов ОТС (их должно быть два) в различных эксплуатационных условиях: при нахождении на планете, в режимах взлёта/посадки и многочасового подъёма/спуска, а также при нахождении на орбите в невесомости.

Анализ существующих вариантов подвеса ротора ОТС

В подвесах для создания магнитного поля, например в наземном транспорте, используются постоянные магниты, которые обладают стабильными характеристиками на протяжении длительного времени эксплуатации и энергонезависимы. Подвешенный объект частично или полностью должен быть выполнен из ферромагнитных материалов и нести на себе постоянные магниты, при этом сам подвес осуществляется за счёт сил отталкивания и/или притяжения [3]. Магнитный подвес является экологически чистой, надёжной и долговечной системой, в которой исключены шум, вибрации и износ, вызванные трением.

Один из популярных методов левитации – электромагнитный подвес (EMS). Однако такая система сталкивается с проблемами высокого энергопотребления и перегрева, поскольку для поддержания нужного воздушного зазора требуется постоянный ток.

В [4] рассмотрена возможная конструкция магнитного подвеса ротора в системе постоянных магнитных полей, произведены расчёты грузоподъёмности магнитной системы, количества отводимого тепла и показаны карты распределения магнитных потоков в подвесе.

Поперечное сечение ротора, магнитной системы и линейных двигателей представлено на рисунке 1. Силовые магниты, воспринимающие подъёмную силу от маховика, размещены сверху и снизу. Остальные магниты обеспечивают поперечную стабилизацию ротора в вакуумном канале и предотвращают контакт с его стенками.

К преимуществам данной системы можно отнести высокую энергонезависимость ввиду отсутствия электромагнитов в системе, следовательно, вся нагрузка приходится на постоянные магниты. При этом имеется существенный недостаток – система не предполагает управляющей части, отвечающей за автостабилизацию положения ротора в процессе движения, а также за компенсацию неравномерности магнитных полей, в том числе краевых эффектов [3]. Кроме того, авторы отмечают необходимость мощной системы охлаждения в связи с размагничиванием магнитов марки N40 при температуре свыше или приближённой к 70 °C [4].

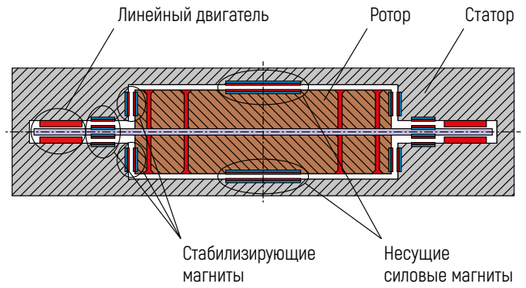


Рисунок 1 – Конструкция ротора ОТС (вариант) [4]

В [5] рассматривается схожая конструкция подвеса, состоящая исключительно из постоянных магнитов (рисунок 2).

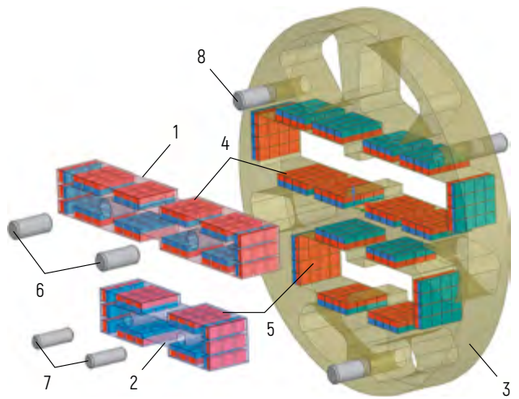


Рисунок 2 – Сборка элементов ОТС:
1 – сегмент ротора 1; 2 – сегмент ротора 2; 3 – сегмент статора;
4 – магнитная система стабилизирующего узла ротора 1;
5 – магнитная система стабилизирующего узла ротора 2;
6 – направляющие элементы ротора 1;
7 – направляющие элементы ротора 2;
8 – направляющие элементы статора [5]

К основным преимуществам данной системы авторы относят незначительное изменение нормальной силы отталкивания при касательном смещении магнитных групп статора и ротора относительно друг друга; отсутствие вариабельности силовых свойств магнитов; простоту изготовления системы; универсальность и небольшие линейные размеры магнитной группы. Однако недостатки здесь также присутствуют, среди них обязательное наличие системы охлаждения в связи с размагничиванием постоянных магнитов марки N52H при температуре свыше 120 °C; потребность примерно в 4 млн тонн неодима, что составляет около 4 % его мировых запасов, ввиду масштабности конструкции [5].

Конструкция гибридного электромагнитного подвеса ротора

В основу работы ОТС заложены принципы, опирающиеся на законы физики. Маховики внутри корпуса разгоняются до скорости выше первой космической на уровне моря. ОТС за счёт внутренней центробежной силы, увеличиваясь в диаметре (растягиваясь), взлетает вместе с грузом. Поскольку ОТС расположено в плоскости экватора и имеет форму тора, то его центр масс совпадает с центром масс Земли во всех возможных положениях: на планете, в полёте и при нахождении на орбите. Именно поэтому данный самонесущий летательный аппарат осуществляет подъём в космос и спуск на Землю исключительно благодаря своим внутренним силам [1].

Исходя из анализа вариантов подвеса ротора, сделан вывод о необходимости использования системы охлаждения вне зависимости от применения или отсутствия электромагнитов в системе. При разработке гибридного подвеса ротора особое внимание уделялось безопасности работы маховиков при космических скоростях движения, так как даже малейшая нестабильность в системе, имеющей длину более 40 000 км, может привести к катастрофическим последствиям.

В связи с этим система подвесов роторов ОТС должна удовлетворять ряду ключевых требований:

- устойчивая и долговременная левитация ротора, движущегося со скоростями 0–12 км/с, с минимальными потерями энергии, что достигается за счёт использования постоянных магнитов для основной нагрузки;
- высокая точность стабилизации (с учётом малых зазоров – около 10 мм) для предотвращения любых боковых или вертикальных смещений ротора относительно стенок

линейной вакуумной камеры, в том числе связанных с боковыми и вертикальными локальными перегрузками до 10*g*, что обусловлено применением электромагнитов. Кроме того, подвес должен быть устойчивым к внешним вибрациям и механическим воздействиям (например, к ударам), иметь возможность быстрого автоматического реагирования на изменения положения ротора;

• оптимизация конструкции подвеса для минимизации затрат на обслуживание и эксплуатацию, а также для обеспечения долговечности и надёжности всей системы и, соответственно, ОТС.

На рисунке 3 представлена предлагаемая система гибридного электромагнитного ротора ОТС, суть которой состоит в следующем: основная нагрузка удерживается за счёт постоянных магнитов 2, при этом зазор и колебания компенсируются дополнительной энергией от электромагнитов 3.

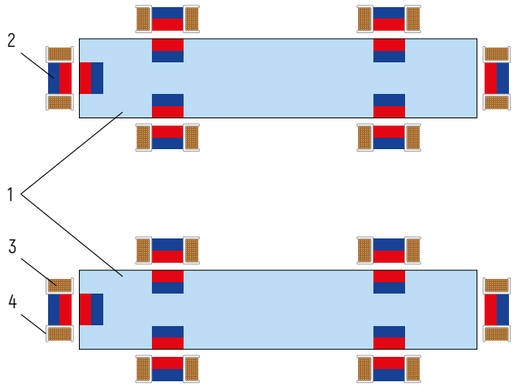


Рисунок 3 – Система гибридного
электромагнитного подвеса ротора ОТС:
1 – линейные роторы; 2 – постоянный (силовой) магнит;
3 – катушка электромагнита; 4 – каркас обмотки

При такой схеме подвеса необходимое количество энергии на стабилизацию ротора уменьшается на несколько порядков, так как катушки могут работать поочерёдно независимо одна от другой с помощью навигационного двухступенчатого PID-регулятора [6], что исключает вероятность чрезмерного перегрева и не требует применения интенсивного охлаждения.

Электромагнитная система должна обеспечивать наличие безопасного зазора в плоскости сечения во всех режимах функционирования ОТС и при действии на его корпус всевозможных дестабилизирующих внешних и внутренних нагрузок и вместе с тем не препятствовать движению ротора вдоль вакуумного канала с космическими скоростями.

С целью дальнейшего определения количества постоянных магнитов на погонный метр ротора на первом этапе рассчитаны штатные значения сил взаимодействия ротора со статором по формуле:

$$Q_{max} = (m_1 + m_2)gK_д, \quad (1)$$

где m_1 – погонная масса ротора, кг/м;

m_2 – погонная масса корпуса, статора и полезной нагрузки, кг/м;

g – ускорение свободного падения на экваторе, м/с^2;

$K_д$ – коэффициент динамичности, $K_д = 2$ [5].

Подставив данные в формулу (1), получим (в одном из возможных вариантов исполнения ОТС):

$$Q_{max} = (360 + 500) \times 9{,}78 \times 2 = 16\,800 \text{ Н/м}.$$

Система из постоянных магнитов в предлагаемой конструкции держит на себе всю полезную нагрузку, следовательно, 16,8 кН должны удерживать два ряда пар постоянных магнитов.

В качестве решения проблемы предлагается использовать систему (рисунок 4), состоящую из базового компонента в виде магнита 1 размером 30 × 40 × 40 мм, вокруг которого размещена катушка электромагнита 2, обеспечивающая динамическую стабилизацию ротора.

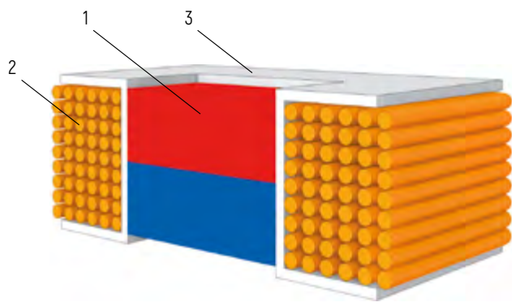


Рисунок 4 – Силовой блок
гибридного подвеса ротора в разрезе (вариант):
1 – постоянный (силовой) магнит;
2 – катушка электромагнита; 3 – каркас обмотки

Конструкция силового блока скомпонована таким образом, что исключено влияние чрезмерного нагрева магнита от катушки электромагнита, учтён также зазор между стенками магнита и катушки.

Ключевые преимущества предлагаемой конструкции гибридного подвеса ротора:

• наличие эффективной электромагнитной стабилизации за счёт катушек электромагнитов: поскольку основную нагрузку несут постоянные магниты, электромагнитам достаточно небольшого усиления электромагнитного поля для уравновешивания системы;

• относительная простота изготовления системы в связи с малой номенклатурой используемых материалов: неодимовый параллелепипед марки N52 размером 30 × 40 × 40 мм и катушек электромагнитов одинаковых размеров и формы по всей длине ротора;

• отсутствие влияния вариабельности силовых свойств отдельных магнитов: в случае брака магнита или образования в нём трещины в процессе эксплуатации ротора нагрузку принимает на себя электромагнит, в противном случае возникновение колебаний в системе может привести к дестабилизации ротора;

• наличие электромагнитов: позволяют проводить диагностику состояния постоянных магнитов, а значит, своевременно осуществлять их замену.

Недостатки предлагаемой конструкции:

• наличие системы охлаждения катушек и постоянных магнитов: она должна поддерживать рабочую температуру в процессе функционирования системы, так как магнит марки N52 сохраняет намагниченность до 120 °C [5];

• дополнительное энергопотребление по сравнению с конструкцией, основанной исключительно на постоянных магнитах;

• необходимость использования большого количества неодимовых магнитов, однако в отличие от сборки на постоянных магнитах, где требуется 4,5 млн тонн редкоземельного неодима, для данной системы понадобится 2 млн тонн (приблизительно 2 % его мировых запасов) [5].

Предлагаемая конструкция разработана с учётом габаритных размеров корпуса ОТС. Силовой блок представляет собой сборку из неодимового магнита марки N52 размером 30 × 40 × 40 мм и обмотки электромагнита (рисунок 4), усиливающей поля магнита на достаточную для стабилизации энергию. Масса одного блока составит не более 1,5 кг (магнит 0,4 кг, нетокопроводящий каркас обмотки 0,1–0,3 кг, катушка электромагнита около 0,5 кг), что исключит сборку подвеса ротора с использованием тяжёлой техники.

Определение сил взаимодействия силовых элементов подвеса ротора ОТС

Взаимодействие силовых элементов подвеса ротора является ключевым фактором при разработке и оптимизации их расположения, поскольку в предлагаемой конструкции всю нагрузку принимают на себя постоянные магниты. Для точного определения несущей способности необходимо учитывать такие параметры, как магнитная проницаемость, коэрцитивная сила и массогабаритные характеристики элементов подвеса.

Конструкция на первом этапе функционирования должна компенсировать действие силы тяжести (при разгоне маховиков до штатных скоростей и нахождении на эстакаде), на втором – влияние центробежных сил в режимах космических скоростей движения (свыше первой космической скорости), а также при подъёме/спуске ОТС. Согласно формуле (1) значение штатной центробежной силы (с двойным коэффициентом запаса) на каждый погонный метр ОТС равно 16 800 Н.

С целью определения несущей способности системы и установления оптимального зазора между силовыми магнитами проведён параметрический 3D-расчёт в специализированном программном обеспечении. В качестве исходных показателей приняты свойства магнита N52 и вариативность расстояния между магнитами от 0,5 до 18 мм. Итогом является сумма результирующей силы отталкивания по модулю.

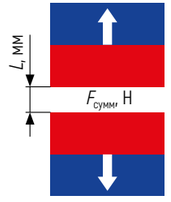
В таблицу 1 сведены данные расчёта, которые показывают, что чем меньше расстояние между магнитами, тем больше сила отталкивания. На основании представленной информации возможен выбор оптимального зазора. Зная, что пиковая сила взаимодействия ротора со статором равна 16 800 Н/м, а длина по наибольшей стороне одного силового блока – 40 мм, примем оптимальное количество силовых пар – 30 шт/м.

При равномерном распределении максимальной нагрузки сила на одну пару составит:

$$q = \frac{Q_{max}}{n_п} = \frac{16\,800}{30} = 560 \text{ Н}, \quad (2)$$

где $n_п$ – количество пар силовых блоков на 1 пог. м ротора ОТС, шт/м.

Таблица 1 – Зависимость силы отталкивания $F_{сумм}$ от зазора между магнитами L



L, мм	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$F_{сумм}$, Н	1530	1386	1192	1046	930	834	758	688	628	576	530	488	452	418	386	358	334	310	288

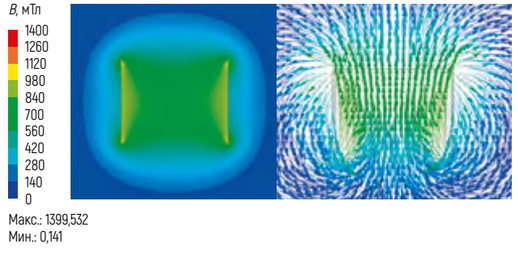
Согласно данным таблицы 1 зазор L не превысит 9 мм в статическом режиме. С учётом возможных боковых колебаний и влияния динамической центробежной силы пара силовых блоков на каждый 1 мм смещения от «нулевого» положения создаёт поле силой на 10 % больше, чем у предыдущего, что достаточно для поддержания вертикальных и боковых сил (центробежных и весовых), действующих на ротор при подъёме ОТС на околоземную орбиту и спуске с неё.

Определение влияния катушек электромагнитов на результирующее магнитное поле силового блока

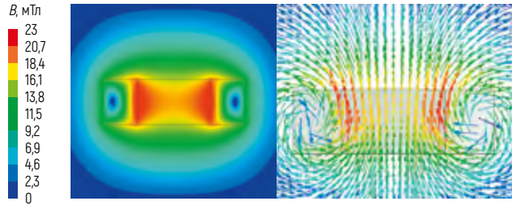
На основе уравнений Максвелла с использованием метода конечных элементов проведено моделирование распределения магнитного поля силового блока. Направленность векторов магнитной индукции в продольном сечении силового блока без включённых катушек и с включёнными катушками представлена на рисунке 5. Входными данными являются массогабаритные свойства материалов и подаваемая магнитодвижущая сила 1000 ампер-витков.

На рисунке 5в показано усиление полей постоянного магнита – индукция увеличивается пропорционально подаваемому току. Для того чтобы сравнить зависимость интенсивности магнитной индукции от расстояния до магнита, построены графики зависимости для силового блока без пропускания тока и с током (рисунок 6).

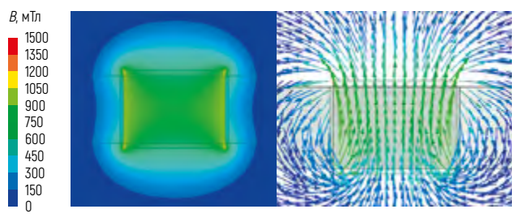
Можно сделать вывод, что магнитная индукция в случае с магнитодвижущей силой 1000 ампер-витков на расстоянии 4,5 мм от поверхности имеет значение на 6 % выше с током, чем без тока. Силы отталкивания будут пропорционально зависеть от силового поля над постоянным магнитом, которое можно увеличивать с помощью подачи тока на катушки электромагнитов.



а)



б)



в)

Рисунок 5 – Распределение векторов магнитной индукции:
а – постоянный магнит; б – электромагнит; в – сборка

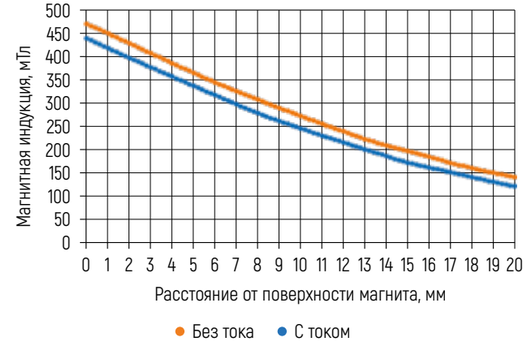


Рисунок 6 – Зависимость величины магнитной индукции
от расстояния до постоянного магнита

Предполагается, что прироста даже в 1–5 % индукции на один силовой блок достаточно для стабилизации ротора в заданном положении. Для оптимизации энергопотребления и тепловыделения можно предложить компоновку подвеса ротора с размещением силовых блоков с катушками через определённое количество силовых блоков, состоящих исключительно из постоянных магнитов.

Экспериментальная модель силового блока гибридного подвеса

Для экспериментальной проверки работоспособности силового блока создана модель (рисунок 7), изготовленная из постоянного магнита марки N40 размером 15 × 15 × 15 мм, каркаса обмотки из пластика ABS-max и медной обмотки в 300 витков.

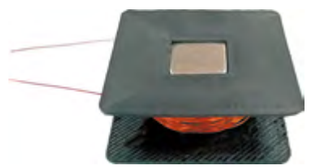


Рисунок 7 – Экспериментальная модель силового блока

В проводимых испытаниях напряжение подавалось источником питания PS-3003, имеющим максимальный выходной ток 3 А. Для сравнения с расчётной частью, где магнитодвижущая сила составляла 1000 ампер-витков, для данной обмотки в 300 витков магнитодвижущая сила при токе в 3 А будет равна 900 ампер-витков. Измерение индукции магнитного поля производилось прибором АКТАКОМ ATE-8702, характеризующимся диапазоном измерений 0–3000 мТл.

На первом этапе замерялось магнитное поле над катушкой с током без магнита (рисунок 8а). На втором этапе определялась величина магнитной индукции над поверхностью магнита без подачи напряжения на катушку (рисунок 8б). В третьем и четвёртом случаях измерение осуществлялось с током в катушке, протекающим в прямом и обратном направлении соответственно, включая работу постоянного магнита (рисунки 8в, 8г).



а)



б)



в)



г)

Рисунок 8 – Измерение магнитной индукции над поверхностью:
а – катушки с током; б – постоянного магнита;
в – сборки с током, протекающим в прямом направлении;
г – сборки с током, протекающим в обратном направлении

Согласно результатам эксперимента магнитная индукция над постоянным магнитом имеет величину 465 мТл, над катушкой – 20 мТл. При измерении над системой в сборе получено 487 мТл, разница в 2 мТл может быть связана с погрешностью измерений прибора. Прирост индукции поля при данных характеристиках системы достиг 5 %

от величины над поверхностью одиночного магнита. При пропускании тока в обратном направлении индукция составила 442 мТл, показав разницу −5 % (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты эксперимента

Характеристика	Объект			
	Катушка	Магнит	Сборка	
Ток, А	3	3	−3	
Магнитодвижущая сила, ампер-виток	900	–	900	
Расстояние от поверхности до датчика, мм	1	1	1	
Магнитная индукция, мТл	20	465	487	442
Прирост, %	–	–	5	−5

По итогу анализа измерений сделан вывод: величина магнитной индукции над поверхностью магнита равна сумме магнитной индукции постоянного магнита и катушки; последняя, в свою очередь, регулируется силой тока. Это и подтверждается принципом суперпозиции магнитного поля [7]. Ещё одно преимущество такой сборки: величину магнитной индукции над поверхностью можно в равной степени уменьшать посредством пропускания тока в обратном направлении.

Заключение

Разработка гибридного подвеса ротора, основанного на сочетании постоянных магнитов с электромагнитами, представляет собой перспективное направление для практической реализации ОТС. Постоянные магниты обеспечивают базовый уровень подвеса, снижая потребление энергии, что в свою очередь необходимо для стабильного поддержания ротора в вертикальном положении и гарантирует несущую способность ОТС при подъёме и спуске. Электромагниты позволяют гибко управлять позиционированием ротора, автоматически компенсировать внешние возмущения и изменять векторные величины подвеса в реальном времени.

В данном исследовании предложена конструкция гибридного электромагнитного подвеса ротора ОТС, сформулирована концепция её функционирования, базирующаяся на законах физики. Проанализированы преимущества и недостатки использования сочетания постоянных магнитов с электромагнитами, рассмотрены принципы интеграции магнитных и электромагнитных элементов с целью повышения эффективности работы и обеспечения динамической устойчивости гигантского по размерам и массе самонесущего летательного аппарата – ОТС – при широкомасштабной индустриализации ближнего космоса.

Список основных источников

1. *Общепланетарное транспортное средство и космическое ожерелье «Орбита» как альтернатива ракетному освоению околоземного пространства / А.Э. Юницкий [и др.] // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. – 2021. – Т. 22, № 4. – С. 364–372.*
2. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.*
3. *Юницкий, А.Э. Обеспечение левитации ротора общепланетарного транспортного средства при помощи постоянных магнитов / А.Э. Юницкий, С.В. Артюшевский, В.Л. Лукша // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы VI междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 7–8 окт. 2023 г. – Минск: СтройМедиаПроект, 2024. – С. 188–201.*
4. *Лукша, В.Л. Применение магнитного подвеса в высокоскоростных транспортных системах / В.Л. Лукша // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы IV междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 18 сент. 2021 г. – Минск: СтройМедиаПроект, 2022. – С. 149–159.*
5. *Юницкий, А.Э. Моделирование динамики магнитной системы силового стабилизирующего узла общепланетарного транспортного средства / А.Э. Юницкий, А.С. Хлебус // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы VI междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 7–8 окт. 2023 г. – Минск: СтройМедиаПроект, 2024. – С. 174–187.*
6. *Абакумов, А.А. Алгоритмы управления и проведение испытаний прототипа линейного электродвигателя общепланетарного транспортного средства / А.А. Абакумов, М.А. Зименков // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы VI междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 7–8 окт. 2023 г. – Минск: СтройМедиаПроект, 2024. – С. 202–213.*
7. *Тамм, И.Е. Основы теории электричества: в 2 т. / И.Е. Тамм. – 2-е изд. – Л.: ГТТИ Москва, 1934. – Т. 1.*



УДК 69.034.2+629.7

Анализ влияния ветра, волн и морских течений на плавучую эстакаду общепланетарного транспортного средства

А.Э. Юницкий[1,2]
доктор философии транспорта

С.В. Артюшевский[2]

Р.Л. Мелконян[2]

Ф.С. Карпей[2]

[1] ООО «Астроинженерные технологии»,
г. Минск, Беларусь

[2] ЗАО «Струнные технологии»,
г. Минск, Беларусь

Предложен комплексный анализ влияния сил ветра, волн и течений на конструкции океанических участков взлётно-посадочной эстакады общепланетарного транспортного средства (ОТС). Изучены нагрузки, приходящиеся на опоры и другие ключевые элементы указанного плавучего сооружения.

Особое внимание уделено моделированию и расчёту силовых воздействий, что позволило вычислить значения сил и определить их направления в узлах крепления якорных канатов и установки несущих подводных поплавков. Эти данные являются критически важными для дальнейшего проектирования и оптимизации элементов эстакады ОТС. Полученные результаты способствуют повышению надёжности и долговечности конструкций, а также их устойчивости к экстремальным условиям эксплуатации.

Статья представляет собой актуальное и значимое исследование, направленное на разработку расчётной модели океанического участка эстакады ОТС с целью оценки влияния сил ветра, волн и течений на прочность и надёжность сооружения.

Ключевые слова:
ветер, взлётно-посадочная эстакада, волны, климат, нагрузка, общепланетарное транспортное средство (ОТС), течение.

UDC 69.034.2+629.7

Analysis of Impact of Wind, Waves and Ocean Currents on Floating Overpass of General Planetary Vehicle

A. Unitsky[1,2]
Dr. of Philosophy
in Information Technologies
(Transport)

S. Artyushevsky[2]

R. Melkonian[2]

F. Karpey[2]

[1] Astroengineering Technologies LLC,
Minsk, Belarus

[2] Unitsky String Technologies Inc.,
Minsk, Belarus

A comprehensive analysis of the effects of wind, waves and currents on the structures of the oceanic sections of the General Planetary Vehicle (GPV) takeoff and landing overpass is presented. The study examines the loads acting on supports and other critical elements of this floating system.

Special attention is given to modeling and calculating the force impacts, enabling the determination of force magnitudes and directions at the attachment nodes for anchor cables and supporting underwater load-bearing floats. These data are crucial for further design and optimization of the GPV overpass elements. The results enhance the reliability and durability of the structures, improving their resistance to extreme operational conditions.

The article offers a relevant and significant study aimed at developing a calculation model for the oceanic section of the GPV overpass to assess the impact of wind, wave and current forces on the structure strength and reliability.

Keywords:
climate, current, General Planetary Vehicle (GPV), load, takeoff and landing overpass, waves, wind.

Введение

Изменение климата является одной из самых актуальных и тревожных проблем современности. В последние несколько десятилетий учёные наблюдают значительную перестройку глобальной климатической системы, вызванную главным образом деятельностью человека. Сжигание ископаемого топлива, вырубка лесов, интенсивное ведение сельского хозяйства и другие антропогенные факторы способствуют увеличению концентрации парниковых газов в атмосфере, что приводит к глобальному потеплению. Средняя температура на Земле с доиндустриального периода выросла примерно на 1–2 °C, что спровоцировало таяние ледников и полярных льдов, повышение уровня моря, изменение погодных условий, а также определило необратимые трансформации в экосистемах и поставило под угрозу биоразнообразие планеты. Бесспорно, это глобальная проблема, требующая неотложных и скоординированных действий на международном уровне. Сокращение выбросов парниковых газов, переход к устойчивым источникам энергии, ужесточение ответственности за нарушение экологических норм – правильные тенденции, но в перспективе на ближайшие 200 и более лет этих мер будет недостаточно.

Единственным безопасным и надёжным выходом для человечества станет возможность убрать с планеты всё, что загрязняет её и ведёт к катастрофическим последствиям, – вредную часть земной промышленности. Проект безракетной индустриализации космоса, разработанный А.Э. Юницким [1], является решением данной проблемы и ставит своей задачей перенос промышленной и жилой обслуживающей инфраструктуры на экваториальные орбиты, а также организацию широкомасштабной логистики между космосом и Землёй при помощи общепланетарного транспортного средства (ОТС).

Один из важных этапов безракетного освоения космоса – строительство и эксплуатация ОТС, взлётно-посадочная эстакада которого длиной более 40 000 км будет размещена как на суше, так и на воде, вокруг планеты по её экватору. Особое внимание стоит уделить именно океаническим участкам, поскольку аналогов, а также опыта проектирования и строительства подобных объектов на сегодняшний день у человечества нет. Необходимо учесть сдвигающие нагрузки от ветра, волн и течений океана на плавучие опоры эстакады ОТС [2], потому что эти факторы оказывают существенное воздействие на сооружение, а следовательно, представляют опасность для ровности взлётно-посадочной полосы и траектории взлёта и посадки ОТС.

В данной работе рассмотрено влияние ветра, волн и течений на геокосмический транспортно-инфраструктурный комплекс ОТС, определены значения сил, приходящихся на опоры эстакады, произведены расчёты конструкций.

Обоснование необходимости учёта влияния ветра, волн и течений на плавучие опоры эстакады ОТС

Влияние ветра, волн и течений на конструкции эстакады ОТС является комплексным и многослойным, затрагивающим различные аспекты структурной целостности, долговечности и эксплуатационных характеристик. Рассматриваемые природные факторы создают значительные динамические и статические нагрузки, порождая множество проблем, которые инженеры и проектировщики должны учитывать для обеспечения надёжности и безопасности сооружений, в частности опор эстакады, 31 170 км которой расположены на водных участках со средней глубиной 4 км [3].

Ветер оказывает воздействие в виде сил, распределённых по всей площади элементов конструкции. Значения этих сил варьируются в зависимости от скорости, направления и частоты порывов. Постоянные ветровые нагрузки вызывают прогибы и колебания в длиннопролётных строениях, таких как мосты и башни, что может привести к усталостным повреждениям. Высокие ветровые нагрузки способны повлечь резонансные явления, особенно если частота ветровых колебаний совпадает с собственной частотой сооружения. В результате происходит существенное увеличение амплитуды колебаний, что провоцирует структурные повреждения или даже обрушение. Ветровая эрозия также сказывается на поверхности конструкций и становится причиной износа и ухудшения прочностных свойств материалов. Постоянное воздействие сильных ветров может приводить к отклонению строения от горизонтали, вызывая напряжения и деформации, и к снижению его прочности и устойчивости.

Волны, возникающие из-за ветра и других природных факторов, оказывают ещё более сложное влияние на конструкции, создавая переменные и ударные нагрузки со значительным давлением на поверхности сооружений. Оно, в свою очередь, может повлечь как статические, так и динамические деформации. Высокие волны во время штормов способны образовывать пиковые нагрузки, превышающие расчётные параметры, и приводить к повреждению или разрушению. Волновые нагрузки провоцируют также эрозию грунта вокруг якорей, что снижает их устойчивость и несущую способность. В зонах приливов и отливов волны дополнительно воздействуют на конструкции, погружённые в воду, вызывая коррозию и износ материалов. Кроме того, волны могут порождать вибрации, которые усиливают усталостные повреждения, снижая долговечность и эксплуатационные характеристики сооружения.

Течения в океанах и морях оказывают существенное и постоянное воздействие на конструкции. Такие гидродинамические нагрузки приводят к напряжениям и деформациям материалов и могут быть критичными для подводных и прибрежных строений. Течения обуславливают эрозию и размыв грунта вокруг опорных элементов, что снижает их устойчивость и становится причиной смещения или обрушения. В условиях сильных и турбулентных течений размыв грунта может быть значительным, создавая пустоты и снижая несущую способность фундаментов. Постоянное воздействие течений ускоряет коррозию металлических элементов сооружений, особенно в солёной морской воде, что вызывает износ поверхностей. Вибрации, порождённые турбулентными течениями, могут привести к усталостным повреждениям, которые проявляются в виде микротрещин, постепенно перерастающих в более серьёзные структурные изменения.

В совокупности ветер, волны и течения будут оказывать на эстакаду ОТС многогранное и комплексное воздействие, которое трудно предсказать и контролировать. Динамическое сочетание этих природных факторов может привести к нарастанию негативных эффектов, таких как резонансные колебания и усиленная эрозия, и существенно увеличить эксплуатационные расходы на содержание и ремонт конструкций, поскольку постоянный мониторинг и частое восстановление повреждённых элементов становятся необходимыми для поддержания функциональности и безопасности сооружения. Экономические затраты, связанные с ремонтом и обслуживанием, могут быть значительными, особенно в условиях морского климата.

Структурные повреждения, вызванные ветром, волнами и течением, способны повлечь серьёзные аварии, угрожающие жизни людей и окружающей среде. Любое обрушение участков эстакады будет иметь катастрофические последствия, не исключая человеческих жертв и экологических бедствий. Без должного учёта таких природных факторов на этапе проектирования и строительства многие элементы транспортно-инфраструктурного комплекса ОТС становятся уязвимыми к разрушению и выходу из строя.

Долговечность и эксплуатационные характеристики элементов эстакады ОТС напрямую зависят от способности противостоять ветру, волнам и течениям. Недостаточное внимание к данным аспектам может привести к снижению срока службы сооружений и повышению рисков аварий. Например, металлические конструкции, подверженные постоянным динамическим нагрузкам, быстро теряют прочность и устойчивость, а значит, требуют частого ремонта и замены. Бетонные конструкции вследствие эрозии и размыва могут испытывать снижение несущей способности, а значит, есть большая вероятность возникновения аварийных ситуаций.

Изменение климата приведёт к росту силы и частоты штормов, что увеличит воздействие ветровых и волновых нагрузок на морские сооружения. Повышение уровня моря усугубит проблему эрозии и размыва грунта, увеличивая риски для прибрежных и морских строений. Таким образом, влияние ветра, волн и течений на элементы эстакады ОТС будет ещё значительнее. В результате требования к проектированию и строительству сооружения становятся более жёсткими, предусматривающими учёт возможных экстремальных факторов и разработку соответствующих мер защиты.

Анализ Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане [4] показывает, что в экваториальных зонах Тихого, Индийского и Атлантического океанов доминируют ветры, дующие в западном направлении под углом 30–45° к экватору (рисунок 1). На самом экваторе ветры из Южного и Северного полушарий сталкиваются, создавая устойчивый поток, движущийся на запад. Скорость преобладающих ветров составляет 5,9–8,1 м/с, порывы могут достигать 15 м/с.

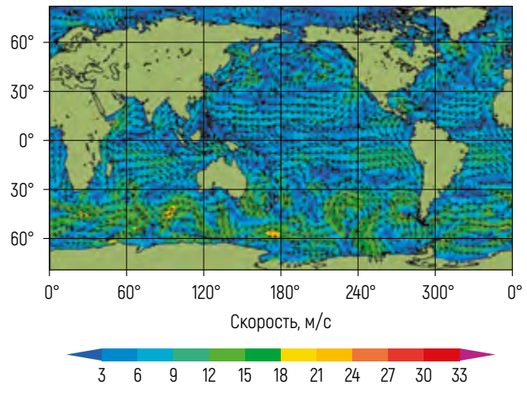


Рисунок 1 – Карта распределения ветровых потоков (стрелками показаны направления)

Влияние ветра, волн и течений на конструкции объектов транспортно-инфраструктурного комплекса ОТС станет критическим фактором, определяющим их надёжность, долговечность и безопасность. Компенсация этих воздействий на этапе проектирования элементов эстакады ОТС является необходимой для обеспечения названных характеристик в условиях агрессивной морской среды.

Обоснование необходимости учёта динамики изменения скорости ветра и высоты волн

Как выяснили исследователи И. Янг из Мельбурнского университета (Австралия) и А. Рибал из Университета Хасануддина (Индонезия), с 1985 г. в Мировом океане наблюдается значительное увеличение скорости ветра и высоты волн. Эти изменения особенно заметны в Южном океане, где скорость ветра выросла на 8 %, а высота волн – на 5 % [5].

Данные показатели играют важную роль в различных атмосферных и океанических процессах. Например, скорость ветра влияет на теплообмен и движение углекислого газа между атмосферой и океаном, а высота волн критична для прибрежных наводнений. Учёные подчёркивают, что выявление даже небольших тенденций, связанных с изменением климата, в этих параметрах – достаточно сложная задача. Они использовали информацию спутниковых наблюдений, полученную с 13 альтиметров, 11 радиометров и 7 скаттерометров 31 спутника за период с 1985 по 2018 г., которые они сопоставили с показателями 80 океанических буёв [5]. В результате создан самый большой массив данных о скорости ветра и высоте волн.

Было обнаружено слабое, но статистически значимое увеличение скорости ветра в южных частях Тихого и Атлантического океанов и на севере Атлантики – на 1–2 см/с/год. Что касается высоты волн, то позитивные тенденции наблюдаются в Южном океане и части Атлантики, тогда как в северной части Тихого океана они отрицательные. В других районах Мирового океана существенных отклонений не зафиксировано.

Самые заметные изменения отмечены в Южном океане, где максимальная скорость ветра за исследуемый период увеличилась на 1,5 м/с, или на 8 %, а максимальная высота волн – на 30 см, или на 5 %. Учёные констатируют, что их результаты (рисунки 2, 3) подтверждаются данными всех использованных спутниковых инструментов, что исключает возможные ошибки, связанные с качеством информации.

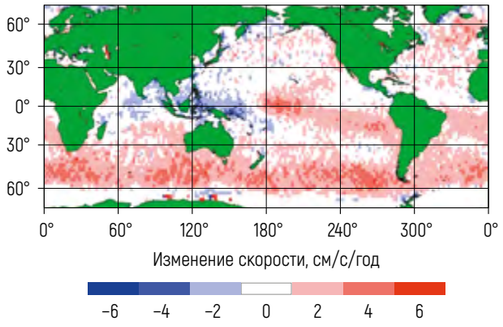


Рисунок 2 – Визуализация изменения скорости ветра по альтиметрам U10 за 1985–2018 гг. (посредством ежегодного теста Манна – Кендалла) [5]

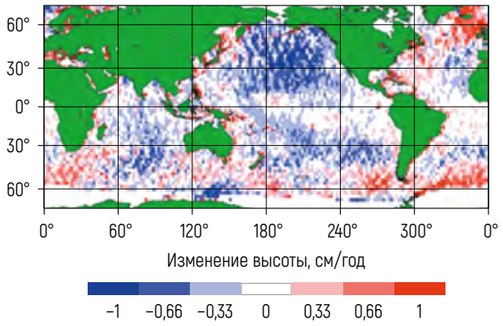


Рисунок 3 – Визуализация изменения высоты волн по альтиметрам Hs за 1985–2018 гг. (посредством ежегодного теста Манна – Кендалла) [5]

Изменения течений в южных частях Мирового океана могут оказывать значительное влияние на экваториальные области через несколько ключевых механизмов. Одним из основных является глобальная океанская циркуляция, которая соединяет различные океанические зоны, создавая сложную систему взаимодействующих течений. Течения в южных океанах, такое как Антарктическое циркумполярное, влияют на транспортировку воды и тепла, что в свою очередь сказывается на экваториальных течениях.

В южных частях Тихого, Атлантического и Индийского океанов изменения течений могут привести к изменению скорости и направления потоков воды, которые достигают экваториальной зоны, и тем самым повлиять на температуру поверхности моря и содержание питательных веществ, что отразится на экосистемах и климатических условиях в экваториальных областях. Например, усиление течений в южных океанах увеличивает поступление холодной воды в экваториальные зоны, преобразуя местный климат и динамику ветров.

Кроме того, изменения в южных течениях могут влиять на возникновение и перемещение океанических фронтов и вихрей, которые играют важную роль в перераспределении тепла и солёности в океане. Эти процессы способны косвенно затрагивать экваториальные течения, трансформируя их структуру и интенсивность.

Таким образом, взаимосвязь между течениями в южных частях Мирового океана и их воздействием на экваториальные зоны – существенный фактор, который необходимо учитывать при расчёте и проектировании конструкций, таких как плавучие эстакады. Это позволит более точно предсказать возможные изменения динамических нагрузок и обеспечить надёжность и долговечность сооружений.

Проектирование строений, способных эффективно противостоять ветру, является важной задачей для инженеров, особенно в регионах с высоким ветровым потенциалом. Для достижения этой цели следует использовать различные методы и подходы, которые можно разделить на несколько ключевых категорий: аэродинамическое проектирование, выбор материалов, системы активного и пассивного контроля, а также мониторинг и прогнозирование.

Конструктив эстакады

На рисунке 4 приведён пример исполнения плавучей эстакады, разработанной А.Э. Юницким [6]. Конструкция заякорена на дне с помощью системы тяг, у верхней части опоры расположены поплавки – всё это обеспечит стабильное положение опор во время функционирования ОТС.

Рисунок 4 – Схема взлётно-посадочной эстакады ОТС на океаническом участке:
а – поперечный разрез; б – вид сбоку; 1 – корпус ОТС; 2 – взлётно-посадочная полоса; 3 – несущая струнная ферма; 4 – опоры: 4.1 – аварийный (надводный) поплавок, 4.2 – несущий (подводный) поплавок, 4.3 – противовес (груз), 4.4 – якорь (груз), 4.5, 4.6, 4.7 – стабилизирующие тяги (канаты); 5 – городской ЮСТ (Струнный транспорт Юницкого) (скорость до 150 км/ч); 6 – высокоскоростной ЮСТ (скорость до 360 км/ч); 7 – морская вода: 7.1 – поверхность моря/океана, 7.2 – волна; 8 – морское дно; 9 – корабль

Использование обтекаемых форм и сглаженных углов элементов ферм позволит снизить аэродинамическое сопротивление и уменьшить турбулентность. Ячейки пространственной фермы имеют габариты 2,5 × 2,5 м. Размер проекции вертикальных пространственных ферм: 15 × 15 м [6].

Расчёт нагрузок от течений

Опора представляет собой пространственную ферму, поэтому определять силу необходимо на 1 пог. м элемента фермы круглого сечения диаметром 100 мм.

Для расчёта сил, воспринимаемых подводной частью опор от океанических течений, воспользуемся формулой:

$$F = \frac{1}{2} V^2 \rho S C_x, \qquad (1)$$

где V – скорость потока воды, равная 1,5 м/с [2];

ρ – плотность воды в океане, равная 1020 кг/м³;

S – площадь элементов 1 пог. м конструкции, на которую воздействует течение, равная 0,1 м²;

C_x – коэффициент аэродинамического сопротивления, равный 0,75 [7].

Таким образом, подставив значения в формулу (1), получим:

$$F = \frac{1}{2} \times 1{,}5^2 \times 1020 \times 0{,}1 \times 0{,}75 = 86 \text{ Н}.$$

Расчёт ветровых нагрузок

Для определения сил, действующих от ветровых нагрузок, приложенных на 1 пог. м конструкции, также воспользуемся формулой (1):

$$F = \frac{1}{2} V^2 \rho S C_x = \frac{1}{2} \times 15^2 \times 1{,}22 \times 0{,}1 \times 0{,}75 = 10{,}3 \text{ Н}.$$

где V – скорость ветра, равная 15 м/с;

ρ – плотность воздуха, равная 1,22 кг/м³;

S – лобовая проекция элементов 1 пог. м конструкции, на которую воздействует ветер, равная 0,1 м²;

C_x – коэффициент аэродинамического сопротивления, равный 0,75 [7].

Расчёт волновых нагрузок

Определим силу, воспринимаемую надводной частью эстакады от волн.

Максимальную линейную нагрузку от волн q_{max} (кН/м) на вертикальную цилиндрическую преграду на глубине $z \geq 0$ (от расчётного уровня воды) найдём по следующей формуле [8]:

$$q_{max} = \frac{1}{8} \rho g \pi k C_i D^2 \frac{C_i h k (d - z)}{C_i h k d}, \qquad (2)$$

где ρ – плотность воды в океане, равная 1,020 т/м³;

g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с;

k – волновое число, равное 6,28 рад/м и рассчитываемое по формуле $2\pi/L$;

L – длина волны, равная 1 м;

C_i – инерционный коэффициент, зависящий от параметра $\frac{\pi D}{L}$ и принимаемый по графику [8], равный 2;

D – диаметр преграды, равный 0,1 м;

h – высота волны, равная 1,5 м [2];

d – глубина воды, равная 4000 м [3];

z – глубина преграды, равная 70 м.

Подставив значения в формулу (2), получим:

$$q_{max} = \frac{1}{8} \times 1{,}020 \times 9{,}81 \times 3{,}14 \times 6{,}28 \times 2 \times 0{,}1^2 \times \times \frac{2 \times 1{,}5 \times 6{,}28(4000 - 70)}{2 \times 1{,}5 \times 6{,}28 \times 4000} = 0{,}49 \text{ кН/м}.$$

Обоснование выбора расчётной схемы

Расчёт конструкции выполнен в программе RFEM по методу конечных элементов. Конструкции ферм смоделированы в виде стержневых элементов и имеют круглое сечение диаметром 102 мм. Материал стержней – сталь S355. Предполагается, что элементы ферм будут защищены от коррозии, поэтому снижение характеристик материала в расчёте не учитывается. Зелёным цветом показаны имеющие ограничения в перемещениях и поворотах узлы, к которым крепятся канаты, поплавки и соседние опоры (рисунок 5). К элементам ферм приложена ветровая нагрузка вдоль линии экватора в направлении Y и нагрузка от течений и волн в направлении $-Y$ (рисунки 6а, 6б, 6в).

Анализ результатов

На рисунке 7 приведена визуализация деформаций (масштаб 50 : 1) конструкции под действием сочетания нагрузок от собственного веса, ветра, волн и течений. Предельное значение деформаций равно 50,4 мм и приходится на подводную часть.

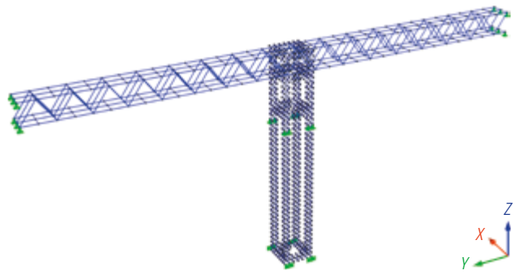


Рисунок 5 – Расчётная схема конструкции
(зелёным цветом обозначены точки закрепления канатов, поплавков и соседних опор)

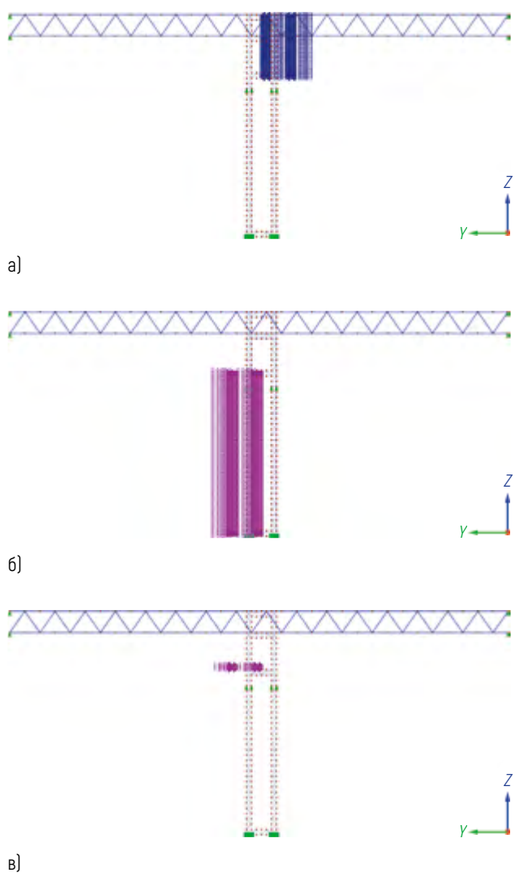


Рисунок 6 – Схемы приложения нагрузок, кН/м:
а – от ветра; б – от течений; в – от волн

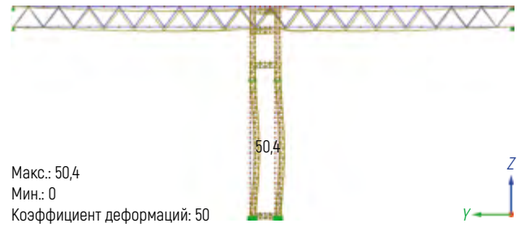


Рисунок 7 – Визуализация деформаций конструкции, мм

Напряжения в элементах (рисунок 8) составляют от 14,44 до –32,14 кН/см², или 92 % от предельных значений для заданного материала.

Силы и их направления в точках закрепления канатов представлены на рисунках 9–13.

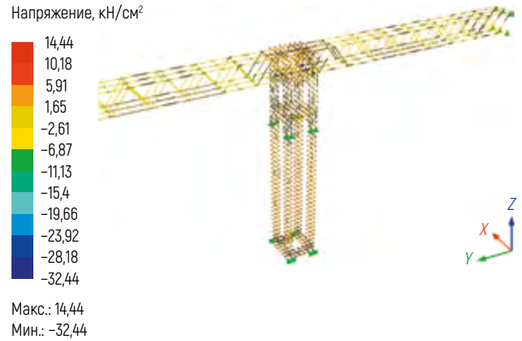


Рисунок 8 – Визуализация напряжений в конструкции

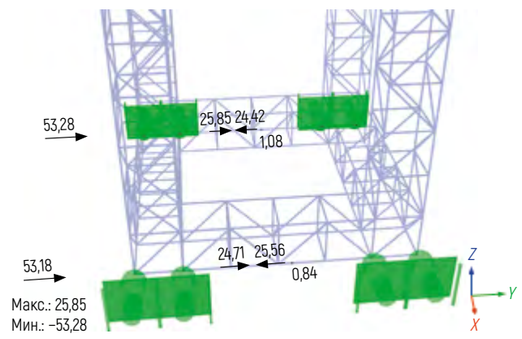
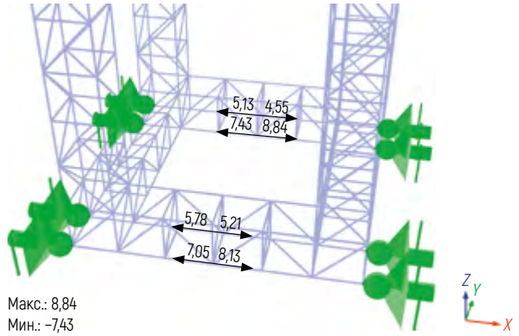
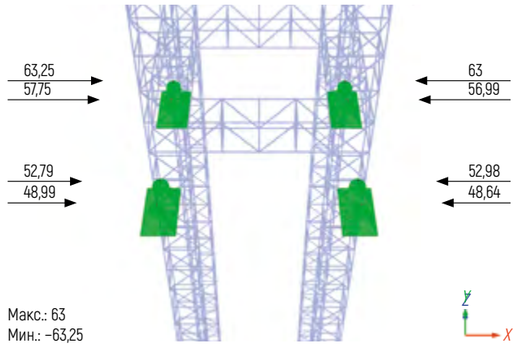


Рисунок 9 – Значения сил реакций в узлах в направлении Y
(нижние канаты), кН



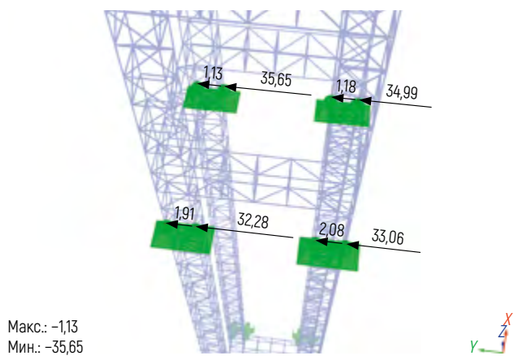
Макс.: 8,84
Мин.: –7,43

Рисунок 10 – Значения сил реакций в узлах в направлении *X* (нижние канаты), кН



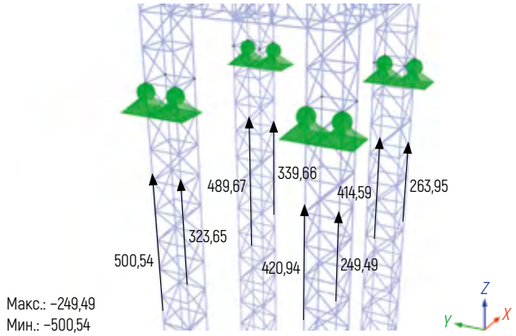
Макс.: 63
Мин.: –63,25

Рисунок 11 – Значения сил реакций в узлах в направлении *X* (верхние канаты), кН



Макс.: –1,13
Мин.: –35,65

Рисунок 12 – Значения сил реакций в узлах в направлении *Y* (верхние канаты), кН



Макс.: –249,49
Мин.: –500,54

Рисунок 13 – Значения сил реакций в узлах в направлении *Z* (верхние канаты), кН

Заключение

В результате исследования изучены нагрузки от ветра, волн и течений на взлётно-посадочную эстакаду ОТС: определены типы и направления воздействий на плавучие опоры и создана расчётная модель конструкции, позволяющая учитывать нагрузки природного происхождения.

На основе разработанной модели и выполненных расчётов получены значения сил и их направления в ключевых узлах, таких как узлы крепления якорных канатов и узлы установки несущего подводного поплавка. Эти данные являются отправной точкой для дальнейшего проектирования и оптимизации элементов эстакады ОТС. В частности, с их помощью можно подбирать сечение и профиль компонентов стержневой конструкции, учитывая специфику условий участка расположения эстакады.

Кроме того, результаты расчётов позволяют определить оптимальные характеристики подводных поплавков и узлов их соединений с основной конструкцией плавучих опор. Это включает в себя анализ прочностных характеристик, а также оценку устойчивости и долговечности элементов сооружения под воздействием внешних нагрузок – ветра, волн и течений.

Таким образом, настоящее исследование предоставляет важные инженерные данные, которые могут быть использованы при проектировании, строительстве и эксплуатации взлётно-посадочной эстакады ОТС на океанических участках с целью обеспечения её надёжности и безопасности. Это будет способствовать снижению рисков аварийных ситуаций и увеличению срока службы конструкций, что в конечном итоге приведёт к уменьшению эксплуатационных затрат и повышению общей эффективности работы геокосмического транспортно-инфраструктурного комплекса ОТС.

Список основных источников

1. *Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы VI междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 7–8 окт. 2023 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2024. – 492 с.*
2. *Юницкий, А.Э. Водные океанические участки с плавучей эстакадой общепланетарного транспортного средства / А.Э. Юницкий, С.В. Артюшевский // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 12 сент. 2020 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – С. 152–169.*
3. *Кривко, О.П. Анализ вариантов конструкции эстакады ОТС / О.П. Кривко, Г.Ф. Логвинов; под общ. рук. А.Э. Юницкого. – Гомель: Совет. фонд мира, Центр «Звёздный мир», 1989. – 117 с.*
4. *Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://193.7.160.230/web/esimo/ocean/wwf/wwf_wo.php. – Дата доступа: 25.07.2024.*
5. *Young, I.R. Multiplatform Evaluation of Global Trends in Wind Speed and Wave Height / I.R. Young, A. Ribal // Science. – 2019. – Vol. 364, iss. 6440. – P. 548–552.*
6. *Юницкий, А.Э. Взлётно-посадочный комплекс общепланетарного транспортного средства на океанических участках / А.Э. Юницкий // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы VI междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 7–8 окт. 2023 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2024. – С. 214–225.*
7. *Ершина, А.К. Теория парусной ветротурбины / А.К. Ершина, Г.А. Каптагай // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2011. – № 6. – С. 128–131.*
8. *Никитин, Б.А. Методические указания по расчёту нагрузок и воздействий от волн на вертикальные цилиндрические преграды / Б.А. Никитин, Д.А. Мирзоев. – М.: Рос. гос. ун-т нефти и газа, 2000. – 18 с.*



УДК 533.68+629.7

Аэродинамические характеристики экваториальной эстакады общепланетарного транспортного средства

А.Э. Юницкий[1,2]
доктор философии транспорта

И.И. Дьяков[2]

А.А. Щербич[2]

[1] ООО «Астроинженерные технологии»,
г. Минск, Беларусь

[2] ЗАО «Струнные технологии»,
г. Минск, Беларусь

Статья представляет собой исследование аэродинамических характеристик тоннельной транспортной путевой структуры экваториальной эстакады общепланетарного транспортного средства, а также углублённый анализ воздействия различных факторов на её аэродинамические качества. Рассмотрено влияние формы элементов данного объекта на его внешнюю (ветровые нагрузки) и внутреннюю (движение подвижного состава) аэродинамику с целью выявления оптимальных геометрических параметров для минимизации сопротивления движению и улучшения общей энергоэффективности конструкции.

Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации проектирования транспортных эстакад и схожих объектов, а следовательно, для повышения их аэродинамической эффективности и устойчивости. Настоящая статья представляет собой существенный вклад в развитие аэродинамики конструкций и может быть полезной для инженеров и проектировщиков, занимающихся разработкой и усовершенствованием подобных транспортно-инфраструктурных сооружений.

Ключевые слова:
аэродинамика, ветровые нагрузки, контейнеровоз, общепланетарное транспортное средство (ОТС), тоннель, тоннельный транспорт, экваториальная эстакада.

UDC 533.68+629.7

Aerodynamic Characteristics of General Planetary Vehicle Equatorial Overpass

A. Unitsky[1,2]
Dr. of Philosophy
in Information Technologies
(Transport)

I. Dzyakau[2]

A. Shcherbich[2]

[1] Astroengineering Technologies LLC,
Minsk, Belarus

[2] Unitsky String Technologies Inc.,
Minsk, Belarus

This article presents a study of the aerodynamic characteristics of the tunnel transport track structure of the General Planetary Vehicle equatorial overpass, providing an in-depth analysis of the impact of various factors on its aerodynamic qualities. The influence of the shape of this object elements on its external (wind loads) and internal (rolling stock movement) aerodynamics is considered in order to identify the optimal geometric parameters for minimizing movement resistance and improving the overall energy efficiency of the structure.

The obtained results may be applied to optimize the design of transport overpasses and similar structures, thereby improving their aerodynamic efficiency and stability. This article makes a substantial contribution to the development of structural aerodynamics and may be useful for engineers and designers involved in the development and enhancement of such transport and infrastructure facilities.

Keywords:
aerodynamics, container ship, equatorial overpass, General Planetary Vehicle (GPV), tunnel, tunnel transport, wind loads.

Введение

В современном мире, где темпы урбанизации неуклонно растут, потребность в надёжных и эффективных транспортных системах становится всё более очевидной. Экваториальная эстакада общепланетарного транспортного средства (ОТС) [1] как основной элемент инфраструктуры геокосмического транспортно-инфраструктурного комплекса обеспечит бесперебойное движение высокоскоростного подвижного состава вдоль ОТС, минимизируя заторы и улучшая общую доступность геокосмической логистики. Однако с увеличением высоты опор и длины пролётных строений аэродинамические характеристики, обусловленные ветровыми нагрузками, особенно боковыми, видятся критически важными для гарантии прочности и безопасности конструкций [2, 3].

Ключевую роль в обеспечении структурной целостности, аэродинамической эффективности и устойчивости к внешним воздействиям играет форма поперечного сечения тоннеля экваториальной эстакады. Главным аспектом, который необходимо учитывать при выборе данного параметра, является устойчивость к боковому ветру, осадкам, температурным перепадам и транспортным нагрузкам. Наиболее приемлемы обтекаемые формы сечения тоннелей – круглые, овальные, каплевидные [4], которые дают возможность снизить аэродинамическое сопротивление и турбулентность, минимизировать накопление снега и льда, достичь равномерного распределения напряжений при температурных деформациях и динамических нагрузках от подвижного состава.

В настоящей статье акцент сделан на исследовании воздействия на транспортную эстакаду ветровых нагрузок [5]. Рассмотрены основные факторы, такие как форма поперечного сечения тоннелей и скорость ветра, влияющие на аэродинамические характеристики. Дополнительно изучены современные методы расчёта и моделирования, позволяющие инженерам предсказывать и оптимизировать аэродинамические свойства на этапе проектирования для минимизации рисков и повышения эффективности эксплуатации сооружений эстакадного типа [6–8].

Цель работы заключается в анализе аэродинамических характеристик конструктивных форм тоннелей транспортной эстакады ОТС, включая однопутные и двухпутные тоннели. Особое внимание уделено изучению влияния данного параметра на сопротивление воздуха при различной скорости бокового ветра. Исследование направлено на определение оптимальных аэродинамических профилей тоннелей, способствующих плавному обтеканию воздушным потоком, для снижения сопротивления экваториальной эстакады. Полученные результаты предполагается использовать для разработки рекомендаций по проектированию и усовершенствованию транспортных эстакад с учётом современных требований.

Оценка влияния формы тоннеля на аэродинамические характеристики

Зависимость аэродинамических характеристик тоннеля от формы его поперечного сечения при боковом ветре оценивали в ходе испытаний посредством метода конечных элементов. Для выполнения задачи выбрана модель турбулентности k-ω SST (Shear-Stress Transport), обеспечивающая наилучшее предсказание срывов потока и поведение пограничного слоя [9].

В качестве вязкой среды использовали модель идеального сжимаемого газа (1) с зависимостью вязкости от температуры по формуле Сазерленда (2):

$$P = \rho RT, \quad (1)$$

где P – давление в объёме, Па;
ρ – плотность среды, кг/м^3;
R – газовая постоянная, Дж/(моль·К);
T – температура, К.

$$\frac{\mu}{\mu_0} = \left(\frac{T}{T_0}\right)^{3/2} \times \frac{T_0 + S_\mu}{T + S_\mu}, \quad (2)$$

где μ – вязкость среды, Па·с;
μ_0 – опорное значение вязкости, Па·с;
T – температура среды, К;
T_0 – опорное значение температуры, К;
S_μ – константа Сазерленда [10].

Для оценки аэродинамических параметров выбраны варианты форм поперечного сечения тоннеля (рисунок 1).

Исходные данные для расчёта

В качестве исходных параметров заданы размеры тоннелей и скорость движения поперечного воздушного потока.

Скорость ветра может существенно варьироваться в зависимости от специфических факторов окружающей среды и местоположения объекта. Для расчёта нагрузок на конструкции тоннелей использован средний диапазон значений скорости от умеренного ветра (10 м/с) до ураганного (110 м/с) с шагом 20 м/с. В качестве характеристик воздуха приняты стандартные условия: атмосферное давление 101 325 Па и температура 20 °С.

На основании результатов, полученных для различных форм тоннелей, определены наиболее перспективные из них.

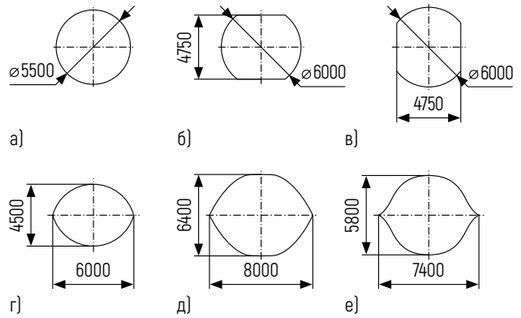


Рисунок 1 – Варианты форм поперечного сечения тоннеля:
а – вариант 1; б – вариант 2; в – вариант 3;
г – вариант 4; д – вариант 5; е – вариант 6

Описание математической модели

Для упрощения вычислений использовалось моделирование в двумерной постановке. На рисунке 2 представлена расчётная модель. В качестве граничных параметров приняты: скорость потока на входе среды (от 10 до 110 м/с), атмосферное давление на выходе среды (101 325 Па); на граничных поверхностях соблюдены условия симметрии; для неподвижной стенки тоннеля заданы условия прилипания (нулевая скорость на поверхности стенки).

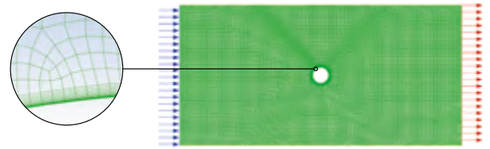


Рисунок 2 – Расчётная модель

Как показано на рисунке 2, расчётная сетка сформирована с плавным измельчением при приближении к стенке тоннеля. Кроме того, созданы пристеночные слои для описания поведения потока в пограничном слое. Подобное распределение расчётных узлов позволяет достичь значения невязки при сходимости расчётов не менее 10^{-4} за 800–2000 итераций.

Результаты математического моделирования

На основании расчётных данных, полученных при проведении виртуальных испытаний, определены силы сопротивления, действующие на тоннель, вычислен коэффициент аэродинамического сопротивления C_x и построен график его зависимости от скорости ветра для рассматриваемых вариантов сечений тоннелей (рисунок 3).

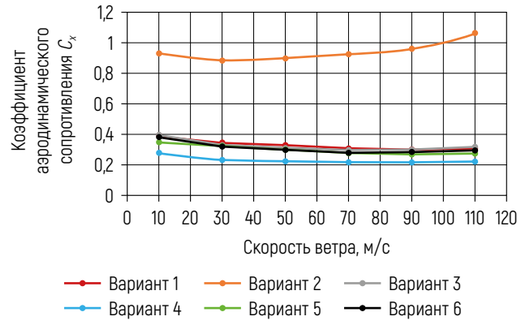


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента аэродинамического сопротивления C_x от скорости ветра и варианта формы поперечного сечения тоннеля

Коэффициент аэродинамического сопротивления находится по формуле:

$$C_x = \frac{2F}{\rho v^2 A}, \quad (3)$$

где F – сила аэродинамического сопротивления, Н;
ρ – плотность воздуха, кг/м^3;
v – скорость ветра, м/с;
A – площадь миделя тоннеля, м^2.

Из графика видно, что вариант 4 обладает наилучшими аэродинамическими характеристиками.

На рисунке 4 отображены линии тока воздуха, полученные посредством использования программного комплекса Ansys, при обтекании наихудшей (вариант 2) и наилучшей (вариант 4) с точки зрения аэродинамической эффективности форм тоннеля при скорости ветра 30, 70 и 110 м/с.

Рисунок 4 наглядно демонстрирует обтекаемость различных вариантов форм тоннеля потоком воздушной среды. В варианте 4 задняя часть тоннеля является областью отрыва потока, где формируются вихри и турбулентность. Это приводит к созданию вихревого следа с переменным направлением ветра и скорости. Данный вихревой след имеет малые размеры в отличие от следа варианта 2: при обтекании такой формы отрыв потока происходит в лобовой части, при этом наблюдается образование устойчивых когерентных вихревых структур больших размеров, а при достижении 110 м/с вихри на сходе потока теряют устойчивость и периодически отрываются от поверхности тоннеля.

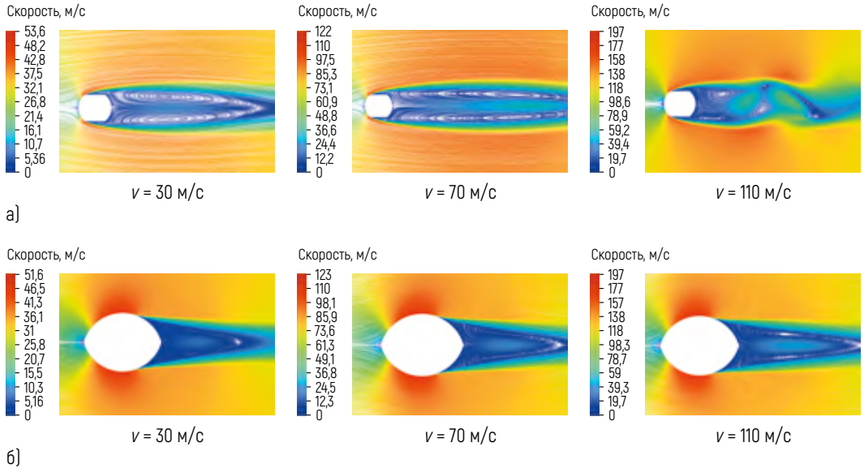


Рисунок 4 – Линии тока воздуха при обтекании вариантов форм поперечного сечения тоннеля:
а – вариант 2; б – вариант 4

Они сохраняют форму в течение некоторого времени и создают дорожку (вихревая дорожка, или дорожка Кармана [11]) за обтекаемым объектом, пока медленно не рассеиваются в потоке в результате трения и не исчезают.

На рисунке 5 отображено распределение давления для рассматриваемых вариантов форм тоннеля при максимальной скорости ветра 110 м/с, полученное посредством использования программного комплекса Ansys. Наличие таких данных в совокупности с численными значениями позволяет провести анализ.

Из рисунка 5а видно, что на наветренной части тоннеля формируется зона стагнации с максимальным давлением, где воздушный поток разделяется и срывается, что образует обширную область пониженного давления и приводит к повышению сил ветрового давления.

Полученные результаты показывают, что форма тоннеля значительно влияет на силы аэродинамического давления, причём различие их численных параметров может быть существенным. Например, вариант 4 на 29–33 % эффективнее круглого сечения (вариант 1) и на 70–80 % – усечённого круга (вариант 2, который имеет наихудшие аэродинамические характеристики).

Можно сделать вывод, что при проектировании транспортной эстакады необходимо учитывать форму поперечного сечения тоннеля, поскольку это напрямую отражается на нагрузках, воспринимаемых как самим тоннелем, так и поддерживающими его опорами.

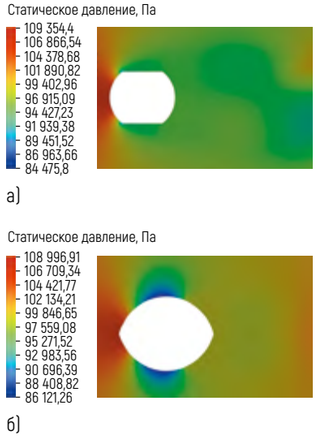


Рисунок 5 – Распределение давления
при обтекании вариантов форм поперечного сечения тоннеля:
а – вариант 2; б – вариант 4

Оценка влияния длины усечения формы тоннеля на аэродинамические характеристики

Согласно выполненным вычислениям, с точки зрения аэродинамики самая эффективная форма сечения тоннеля – овальная продолговатая. Вместе с тем она требует более трудоёмких расчётов и проектных работ для обеспечения равномерности нагрузок и стабильности всей конструкции. Особенно это касается определения кривизны и точности изготовления частей тоннеля. Овальные элементы с заострёнными концами нуждаются в специализированном оборудовании и соответствующей технологии, что может увеличить стоимость производственного процесса. Следовательно, необходимо предпринимать конкретные шаги для облегчения создания тоннеля. Стоит отметить, что усечённая часть является паразитной, поскольку в ней не будет каких-либо элементов сооружения, а её отсутствие значительно снизит снеговую нагрузку, материалоёмкость и стоимость тоннеля.

В то же время усечение формы поперечного сечения тоннеля – один из методов оптимизации, который даёт возможность балансировать между структурными преимуществами овальности и простотой изготовления, характерной для более стандартных форм. Процесс усечения овальности может включать в себя, например, использование полуовальных сечений, где нижняя часть остаётся круглой, а верхняя и боковые могут быть слегка сглаженными или прямыми, что облегчит монтаж и позволит сохранить аэродинамические и структурные преимущества при снижении сложности производства.

В связи с этим в данном исследовании осуществлён расчёт аэродинамических параметров усечённых форм тоннелей транспортной эстакады, полученных на основании формы варианта 4 (рисунок 6).

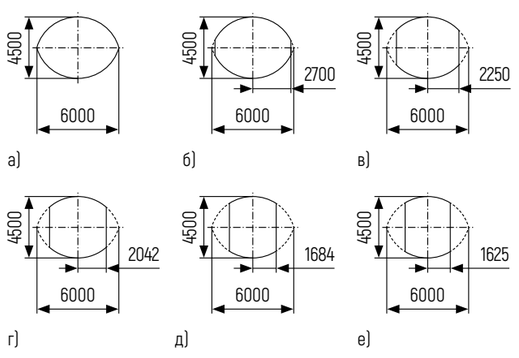


Рисунок 6 – Варианты усечённых форм поперечного сечения тоннеля:
а – вариант 4; б – вариант 4.1; в – вариант 4.2;
г – вариант 4.3; д – вариант 4.4; е – вариант 4.5

Результаты математического моделирования

В результате математического моделирования построен график зависимости коэффициента аэродинамического сопротивления C_x от скорости ветра для рассматриваемых вариантов сечений тоннелей (рисунок 7).

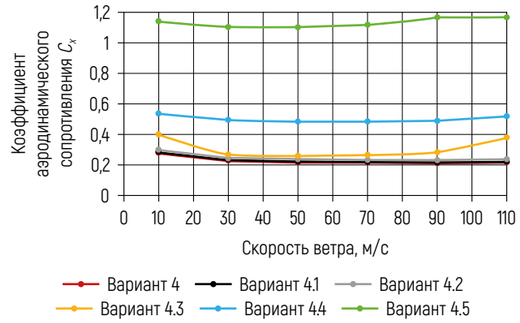


Рисунок 7 – Зависимость коэффициента
аэродинамического сопротивления C_x от скорости ветра
и варианта формы поперечного сечения тоннеля

На рисунке 8 изображён график зависимости коэффициента аэродинамического сопротивления C_x от размера усечения формы тоннеля при различной скорости бокового ветра.

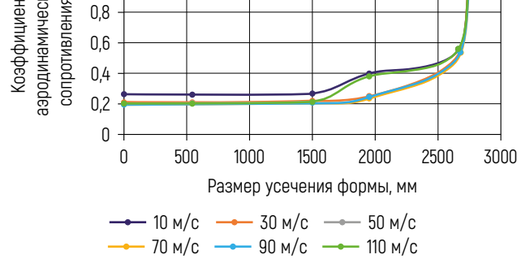


Рисунок 8 – Зависимость коэффициента
аэродинамического сопротивления C_x
от размера усечения формы поперечного сечения тоннеля
при различной скорости бокового ветра

Графики, изображённые на рисунках 7 и 8, наглядно демонстрируют, что варианты 4.1 и 4.2 (размеры усечения 300 и 750 мм) несущественно влияют на аэродинамическое сопротивление (в пределах 0,6–5,5 %). Вариант 4.3 является «переходным», так как его сопротивление сильно зависит от скорости набегающего потока и может колебаться

в пределах 13–76 % от сопротивления первоначальной формы. Варианты 4.4 и 4.5 оказывают значительное сопротивление ветру (превышение коэффициента C_x находится в пределах 96–454 %).

На рисунке 9 представлена визуализация линий тока воздуха при обтекании рассматриваемых усечённых форм овального сечения при минимальной (30 м/с) и максимальной (110 м/с) скорости ветра.

Результаты расчёта наглядно показывают переход от стабильных зон при обтекании тоннеля до резкого роста области вихревой структуры при сходе потока, изменения его формы и, наконец, возмущения воздушного потока с образованием обширных зон турбулентных вихрей и дальнейшим возникновением вихревой дорожки.

В данном отношении сильно выделяется вариант 4.5, как по характеру формирования вихревой дорожки, так и по отрыву пограничного слоя потока, происходящему сразу в лобовой части. В связи с этим можно сделать вывод, что усечение тоннелей допустимо на величину не более 25 % от их ширины.

Двухпутные тоннели

Для того чтобы обеспечить повышенную пропускную способность, гибкость управления графиком движения, минимизацию задержек и сбоев, а также более эффективное использование инфраструктуры, сегодня при построении эстакад тоннельного типа преимущественно рассматривают двухпутную транспортную систему.

Проведём расчёт аэродинамических параметров двухпутной тоннельной эстакады при различном удалении тоннелей друг от друга с целью определения влияния ветровой нагрузки на коэффициент C_x.

Для первоначальной оценки аэродинамического сопротивления рассматриваются двухпутные тоннели круглого сечения на различной дистанции друг от друга для выявления оптимального значения. Кроме того, анализируется воздействие ветра на совмещённую («сшитую») модель двухпутного тоннеля для вычисления допустимого расстояния между путями. Варианты расчётных моделей представлены в таблице 1.

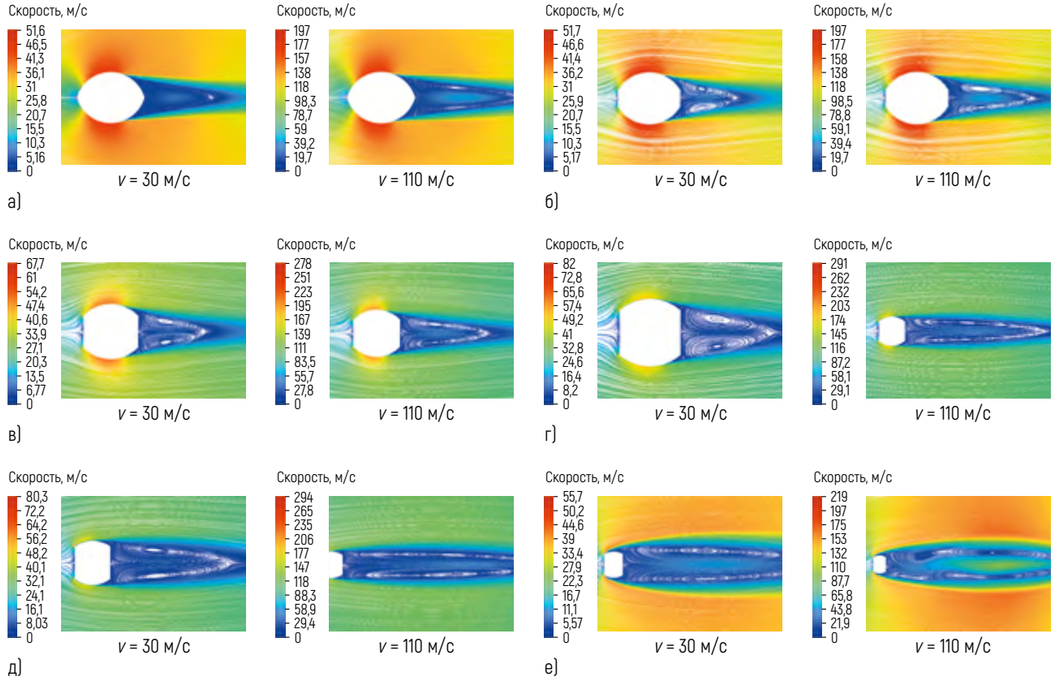


Рисунок 9 – Линии тока воздуха при обтекании вариантов форм поперечного сечения тоннеля:
а – вариант 4; б – вариант 4.1; в – вариант 4.2; г – вариант 4.3; д – вариант 4.4; е – вариант 4.5

Таблица 1 – Варианты расстояния между тоннелями

Вариант	Расстояние между тоннелями, м	Модель
Однопутный тоннель		
1	–	5500
Раздельные пути		
2	1	5500 5500
3	3	
4	5	
5	7	
Совмещённые («сшитые») пути		
2.1	1	5500 5500
3.1	3	
4.1	5	
5.1	7	

Результаты математического моделирования

В результате численного моделирования определены аэродинамические характеристики, на основании которых построены зависимости коэффициента аэродинамического сопротивления C_x на двух тоннелях рассматриваемых путевых структур. На рисунке 10 представлен график зависимости C_x от скорости ветра на первом тоннеле (для вариантов 2–5 в соответствии с таблицей 1).

На графике видно, что при отдалении тоннелей на 1 и 3 м друг от друга в зависимости от скорости ветра коэффициент C_x имеет пересечения с показателями однопутного тоннеля. Отсюда можно сделать вывод, что данные расстояния практически не влияют на первый тоннель. Дальнейшее отдаление на 5 и 7 м приводит к снижению C_x. Это вызвано драфтингом – явлением, при котором два объекта, расположенных друг за другом на определённой дистанции, могут снизить общий эффект от давления ветра [12].

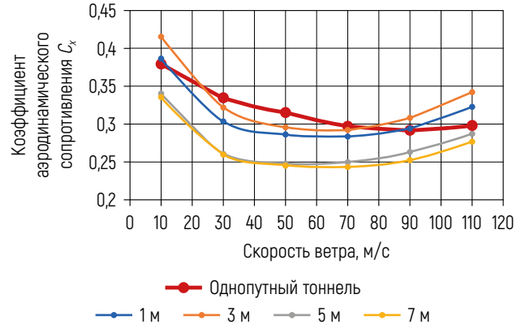


Рисунок 10 – Зависимость коэффициента аэродинамического сопротивления C_x
от скорости ветра на первом тоннеле и расстояния между тоннелями

На рисунке 11 изображён график зависимости C_x от скорости ветра на втором тоннеле (для вариантов 2–5 в соответствии с таблицей 1).

Полученные результаты говорят о том, что в зависимости от расстояния между тоннелями коэффициент C_x второго тоннеля может быть как положительным, так и отрицательным. Данное явление объясняется возникновением разряжения между тоннелями при достаточной близости, что вызывает их притягивание друг к другу. При отдалении этот эффект ослабевает и сила сопротивления становится положительной.

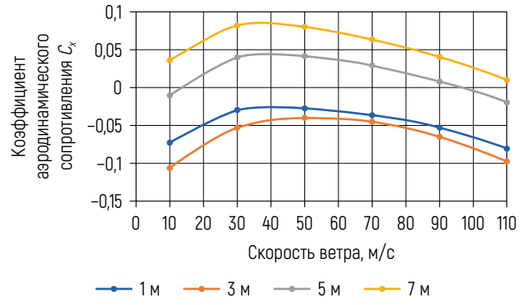


Рисунок 11 – Зависимость коэффициента аэродинамического сопротивления C_x
от скорости ветра на втором тоннеле и расстояния между тоннелями

На рисунке 12 отображён график зависимости результирующего C_x от скорости ветра при различном расстоянии между двухпутными тоннелями раздельного и «сшитого» типа.

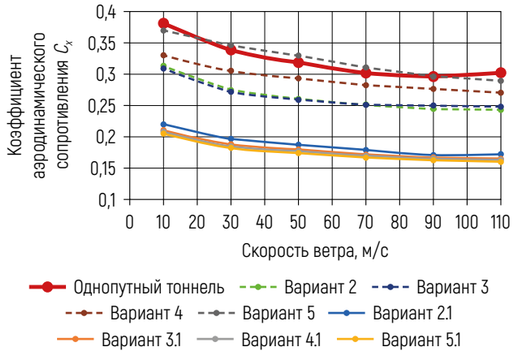


Рисунок 12 – Зависимость результирующего коэффициента аэродинамического сопротивления C_x от скорости ветра для рассматриваемых вариантов тоннелей

Рисунок 12 демонстрирует суммарную составляющую коэффициента C_x в сравнении с однопутным тоннелем. Видно, что при отдалении на 1, 3 и 5 м наблюдается снижение коэффициента C_x в среднем от 7 до 20 % для двухпутных разделённых тоннелей. Однако стоит отметить, что аналогичный, но совмещённый двухпутный тоннель имеет более низкое значение C_x, причём различия находятся в диапазоне 29–46 %.

Результаты проведённого в программном комплексе Ansys компьютерного моделирования движения линий тока воздуха отображены на рисунке 13, где наглядно показаны места возникновения вихрей и их размеры.

Рисунок 13 демонстрирует, что при малом межтоннельном расстоянии между первым и вторым тоннелем образуется отрывная застойная зона и они обтекаются воздухом, по сути, как единое целое, а вихревая структура начинает формироваться за вторым тоннелем.

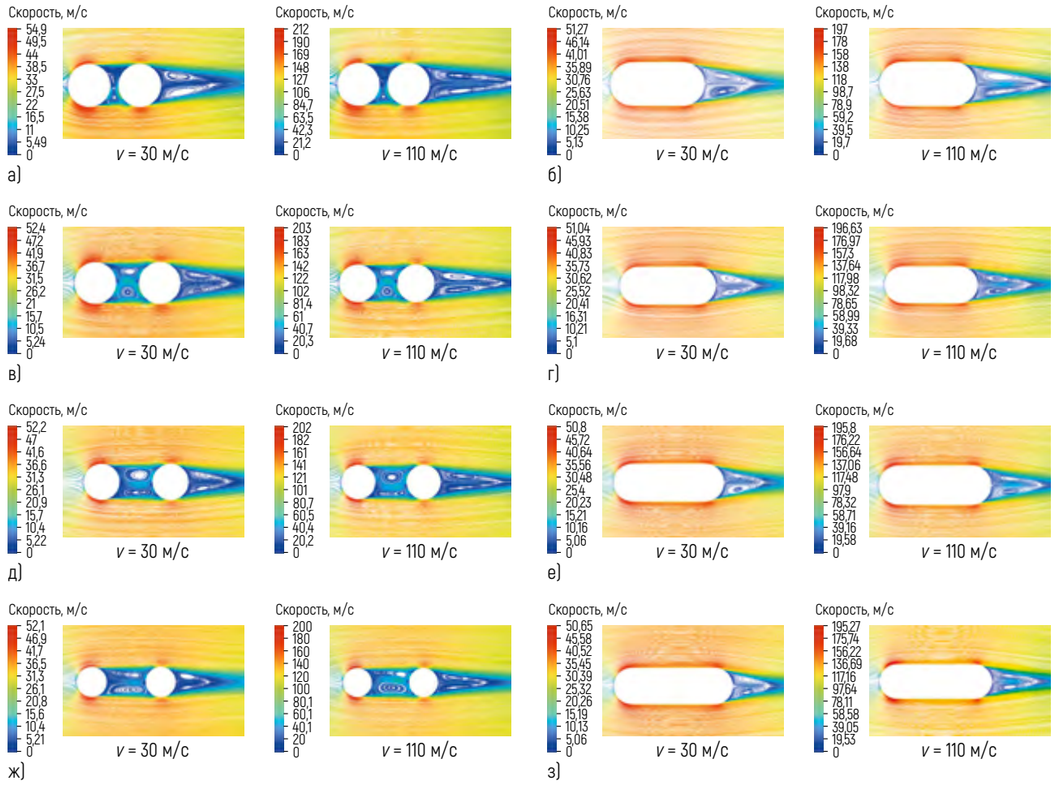


Рисунок 13 – Линии тока воздуха для расчётных вариантов тоннелей:
а – вариант 2; б – вариант 2.1; в – вариант 3; г – вариант 3.1; д – вариант 4; е – вариант 4.1; ж – вариант 5; з – вариант 5.1

При данных условиях возникает фронт пониженного давления между тоннелями, что и вызывает отрицательный C_x у второго тоннеля. С увеличением расстояния появляется новая устойчивая вихревая система с симметричными вихрями за передним тоннелем, при которой сходящий воздушный поток начинает воздействовать на второй тоннель и способствовать возрастанию как его C_x, так и всей системы, что в конечном итоге приводит к ветровому давлению, превышающему давление на однопутный тоннель.

Иную картину демонстрируют «сшитые» тоннели. Независимо от ширины они имеют преимущество перед раздельной двухтоннельной структурой, поскольку отсутствует влияние турбулентных потоков в зазорах и благодаря продолговатой форме обеспечивается плавный сход воздушного потока, что препятствует формированию обширных зон вихреобразования и снижает сопротивление.

Опираясь на результаты предыдущих расчётов, следует проанализировать зависимость коэффициента аэродинамического сопротивления C_x от конструкции двухпутных тоннелей с овальной продолговатой формой сечения. В таблице 2 представлены варианты их расчётных моделей. Рассматривается также форма с усечённой овальностью (вариант 6.2).

По результатам расчёта получен график зависимости C_x от скорости ветра для рассматриваемых вариантов двухпутных тоннелей (рисунок 14).

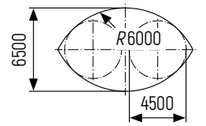
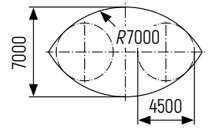
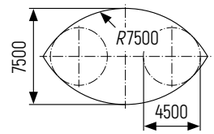
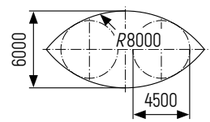
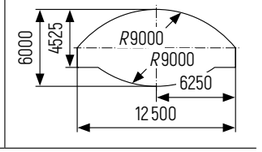
График показывает, что все сечения имеют схожий характер изменения C_x в зависимости от скорости ветра. Наилучшие аэродинамические характеристики присущи вариантам 5.2 и 6.2.

На рисунке 15 представлены результаты моделирования линий тока воздуха на скорости 30 и 110 м/с для всех вариантов сечений. Рассматриваемые формы хорошо обтекаемы. Вихревая дорожка во всех вариантах отсутствует, «хвосты» имеют малые размеры.

В вариантах 5.2 и 6.2 задняя часть тоннеля становится областью отрыва потока, где формируются вихри и турбулентность, что приводит к созданию вихревого следа с переменным направлением потока и скорости. Все эти показатели являются благоприятными условиями для низкого сопротивления.

Математическое моделирование подтвердило, что с точки зрения минимизации бокового ветрового давления наиболее оптимальны варианты 5.2 и 6.2. По сравнению с тоннелем круглого сечения (таблица 1, вариант 1) они эффективнее на 49–59 %, что является наилучшим результатом из всех рассмотренных сечений.

Таблица 2 – Варианты форм двухпутных тоннелей

Вариант	Соотношение ширины и высоты тоннеля	Форма
2.2	1,25	
3.2	1,73	
4.2	1,73	
5.2	2,1	
6.2	2,1	

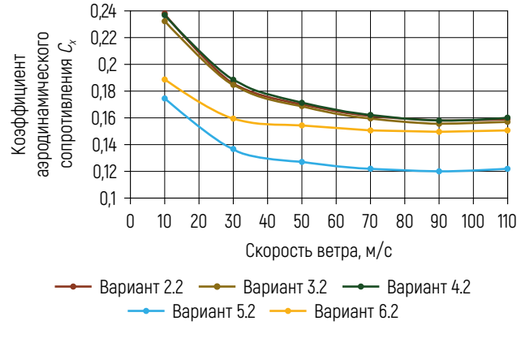


Рисунок 14 – Зависимость коэффициента аэродинамического сопротивления C_x от скорости ветра и варианта формы тоннеля

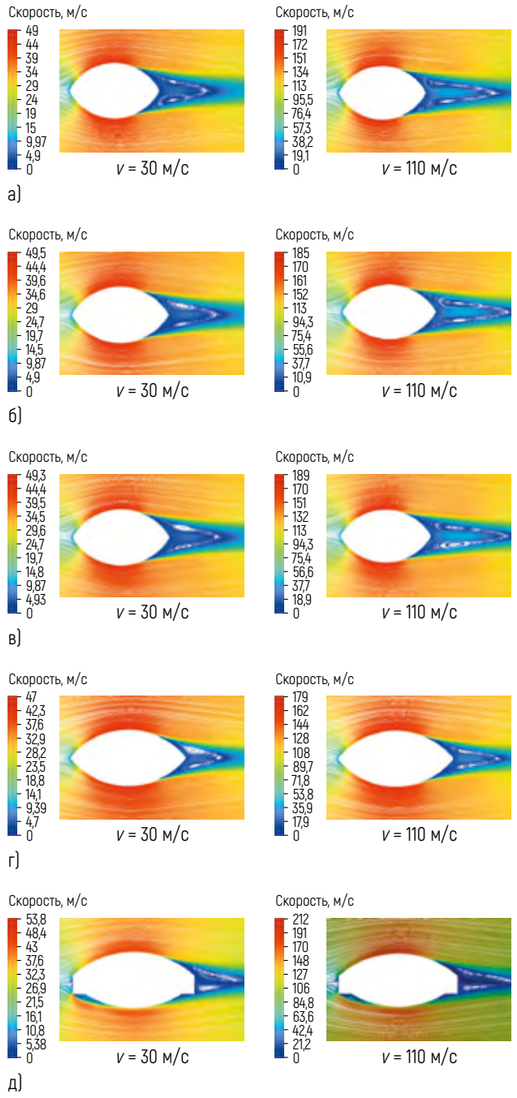


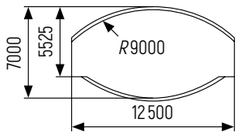
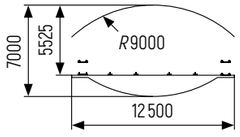
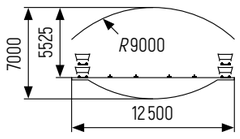
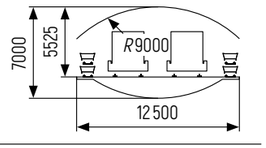
Рисунок 15 – Линии тока воздуха
при обтекании вариантов форм поперечного сечения тоннеля:
а – вариант 2.2; б – вариант 3.2; в – вариант 4.2;
г – вариант 5.2; д – вариант 6.2

Открытые двухпутные тоннели

Двухпутные транспортные эстакады с сечением тоннеля открытого типа позволяют оптимально использовать пространство, особенно в густонаселённых городских районах. Такие конструкции могут быть построены над дорогами, железнодорожными путями или реками и имеют преимущество в сложности изготовления по сравнению с полностью закрытой тоннельной эстакадой. Отсутствие боковых стен тоннеля исключит эффект запирания потока при движении высокоскоростного транспорта и уменьшит аэродинамическое сопротивление.

Ниже произведён расчёт аэродинамических параметров открытых двухпутных тоннелей, смоделированных на основании варианта усечённого двухпутного тоннеля. Формы таких сечений с их различным внутренним заполнением подвижным составом (дискретным – юниконт для перевозки контейнеров, а также непрерывным – юнитранс для транспортировки сыпучих грузов) представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Варианты форм двухпутных открытых тоннелей

Вариант	Площадь миделя 1 пог. м, м²	Форма
1	7 (закрытый)	
1.1	4,55 (с двухпутными путевыми структурами)	
1.2	5,51 (с двумя юнитрансами по бокам тоннеля)	
1.3	7 (с двумя юнитрансами и двумя юниконтами)	

Результаты математического моделирования

Эффективность коэффициента аэродинамического сопротивления C_x для вариантов форм открытых тоннелей определяется в сравнении с вариантом усечённой формы двухпутного тоннеля. В таблицах 4 и 5 представлены данные, полученные при моделировании.

Таблица 4 – Результаты расчёта
аэродинамических характеристик открытых тоннелей

Вариант	Скорость бокового ветра, км/ч (м/с)	Боковая сила, Н	C_x
1	108 (30)	744	0,2
	396 (110)	9479	0,19
1.1	108 (30)	593	0,24
	396 (110)	7602	0,23
1.2	108 (30)	662	0,22
	396 (110)	8655	0,22
1.3	108 (30)	638	0,17
	396 (110)	8453	0,17

Из таблицы 4 видно, что вариант 1.3 имеет наименьший коэффициент C_x, который даже ниже, чем у закрытого тоннеля (вариант 1). Варианты 1.1 и 1.2 хотя и воспринимают меньшее усилие, но у них также меньшая площадь миделя.

Таблица 5 показывает, что общий боковой C_x для контейнеровозов в тоннеле составляет 0,48–0,49 в зависимости от скорости ветра. Это свидетельствует о том, что в связи с характером воздушного потока при обтекании группы тел на тоннель действует усилие в обратном направлении. Завихрения, формирующиеся между объектами, могут вызывать турбулентность и сопротивления, как уменьшающие, так и увеличивающие общую эффективность системы. Следовательно, понимание и устранение таких завихрений может привести к существенным улучшениям конструктива тоннеля.

Визуализация линий тока воздуха при обтекании рассматриваемых открытых двухпутных транспортных эстакад при скорости бокового ветра 30 и 110 м/с представлена на рисунке 16.

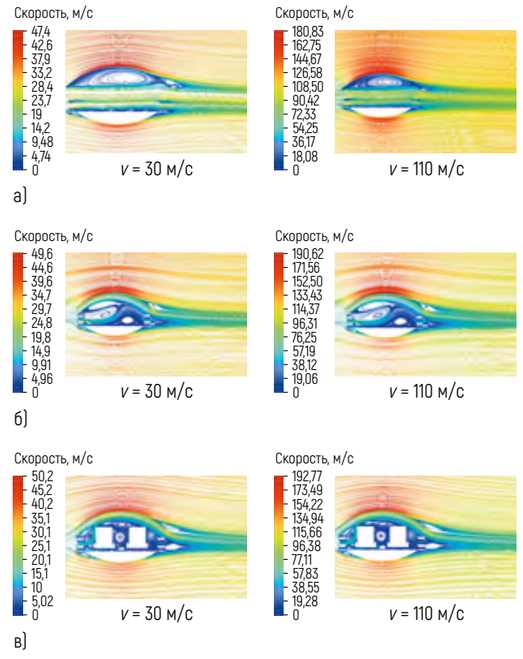
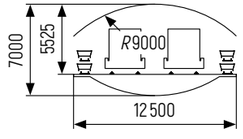


Рисунок 16 – Линии тока воздуха
при обтекании вариантов форм двухпутных открытых тоннелей:
а – вариант 1.1; б – вариант 1.2; в – вариант 1.3

Таблица 5 – Аэродинамические характеристики контейнеровозов в тоннеле

Вариант	Форма тоннеля	Скорость бокового ветра, км/ч (м/с)	Боковая сила на первый контейнеровоз, Н	C_x первого контейнеровоза	Боковая сила на второй контейнеровоз, Н	C_x второго контейнеровоза
1.3		108 (30)	621	0,4	118	0,08
		396 (110)	8549	0,41	1739	0,08

Анализ рисунка 16 показывает, что при обтекании открытых тоннелей отсутствует образование вихрей за тоннелем, что способствует снижению бокового сопротивления, однако появляется воздействие потока на внутренние стенки тоннеля и находящиеся в нём элементы, в том числе на подвижной состав. При этом возникают завихрения, которые в зависимости от их нахождения могут как увеличивать общее боковое ветровое давление, так и уменьшать его.

Заключение

Исследование раскрывает важность анализа аэродинамики тоннельной путевой структуры как элемента экваториальной взлётно-посадочной эстакады ОТС. В ходе работы изучены разнообразные конфигурации поперечных сечений тоннелей и их влияние на аэродинамическое ветровое давление, что позволило выявить ключевые преимущества и ограничения каждой из рассмотренных форм.

Определено, что конструкции с овальным поперечным сечением с острыми концами и соотношением ширины и высоты, равным или превышающим 2, демонстрируют наилучшие аэродинамические свойства. Эффективность таких тоннелей в зависимости от скорости ветра может достигать 29–33 % по сравнению с круглыми и 70–88 % по сравнению с наименее оптимальной формой. Однако изготовление овальных элементов с острыми концами потребует использования специализированных технологий и оборудования, что повлечёт возрастание стоимости производства. В качестве альтернативы предложено усечение острых краёв; как показали результаты моделирования, это приводит к небольшому снижению эффективности: на 0,6–5,5 %, если усечение не превышает 25 % от первоначальной ширины тоннеля.

Исследование обозначило новые горизонты в понимании двухпутных транспортных систем, особенно в контексте расположения тоннелей на определённом удалении друг от друга. Выяснилось, что два соединённых тоннеля превосходят по эффективности два раздельных. С увеличением промежутка между интегрированными тоннелями от 1 до 7 м данный показатель заметно возрастает. Ключевым открытием стало то, что сдвоенный («сшитый») круглый тоннель, сформированный из двух круглых тоннелей, демонстрирует более низкий коэффициент аэродинамического сопротивления C_x (от 0,15 до 0,2), чем однопутный круглый тоннель, – на 48 %. Дополнительным преимуществом «сшитого» тоннеля является его большая боковая жёсткость, что особенно важно при проектировании экваториальной эстакады ОТС на океанических участках, где планируется применение плавучих опор.

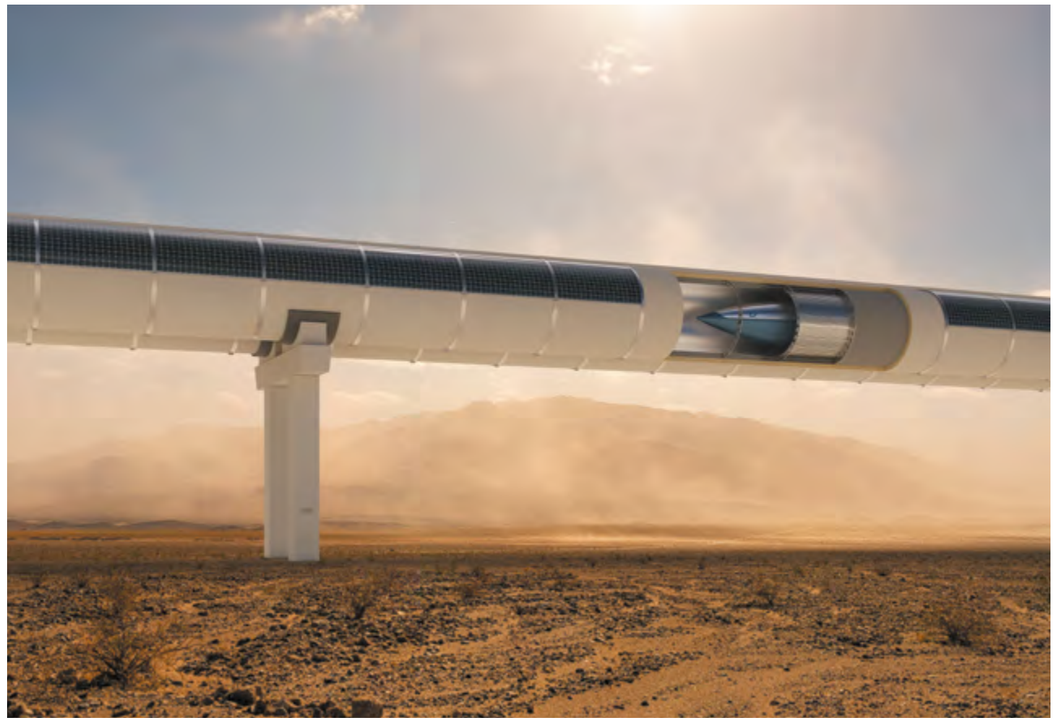
Моделирование открытых тоннелей подтвердило, что их использование в некоторых случаях может приводить к уменьшению общего аэродинамического сопротивления, но также вызывает воздействие на движущийся транспорт, чего не происходит в закрытых тоннелях. Например, в варианте 1.3 коэффициент аэродинамического сопротивления C_x будет ниже, чем у аналогичного закрытого тоннеля (вариант 1), на 15 %. В вариантах 1.1 и 1.2 C_x выше, чем у закрытого тоннеля (из-за меньшей площади миделя), но нагрузки в них не такие существенные.

Таким образом, при выборе конструкции сооружения нужно учитывать как преимущества, так и недостатки открытых и закрытых тоннелей. Открытые могут предложить снижение общего аэродинамического сопротивления, но в то же время оказать влияние на движущийся транспорт. Закрытые обеспечивают более стабильный и предсказуемый поток, исключая внешние воздействия.

В заключение следует подчеркнуть, что данное исследование акцентирует внимание на значимости аэродинамического проектирования в современных системах транспортной инфраструктуры. Правильно сконструированные тоннели могут существенно снизить ветровые нагрузки, что приведёт к уменьшению затрат на строительство и обслуживание. Овальные тоннели с оптимизированными размерами и формами показали наилучшие результаты в минимизации аэродинамического сопротивления, что делает их предпочтительными для будущих проектов. Кроме того, интеграция двух тоннелей в единый комплекс открывает перспективы для повышения эффективности транспортных коридоров и снижения нагрузок на транспортную систему. Данные выводы могут служить основой для разработки новых стандартов и методов строительства, которые будут способствовать созданию более устойчивых и экономичных конструкций.

Список основных источников

1. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.*
2. *Wind Load Effect of Single-Column-Supported Two-Plate Billboard Structures / Z. Li [et al.] // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2018. – Vol. 179. – P. 70–79.*
3. *Morais da Costa, B. Bridge Aerodynamics in Skew Winds: Generalized Buffeting Load Modelling and Response Analysis / B. Morais da Costa. – Stavanger: University of Stavanger, 2022. – 195 p.*
4. *Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. – М.: Наука, 1987. – 904 с.*
5. *Здания и сооружения. Методика определения ветровых нагрузок на ограждающие конструкции: ГОСТ Р 56728-2015. – Введ. 01.05.2016. – Минск: БелГИСС, 2016. – 15 с.*
6. *Lee, J.S. Computational Method for the Prediction of Dynamic Response of Long-Span Bridges Due to Unsteady Wind Load / J.S. Lee, S. Lee // High Performance Computing on the Information Superhighway: Conference Proceedings, Seoul, 28 Apr. – 2 May 1997. – Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1997. – P. 419–424.*
7. *Examination of Load-Deformation Characteristics of Long-Span Bridges in Harsh Natural Environments Based on Real-Time Updating Artificial Neural Network / L. Hu [et al.] // Engineering Structures. – 2024. – Vol. 308. – 118022.*
8. *Kole, P.P. Service Life Prediction of Prestressed Concrete Road Bridge Using Structural Audit Data and Comparison of Life 365 Software and Mathematical Model / P.P. Kole, B.M. Dawari // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2024. – Vol. 1326. – 012021.*
9. *Юницкий, А.Э. Гиперскоростной тоннель экваториальной эстакады общепланетарного транспортного средства / А.Э. Юницкий, А.А. Щербич, И.И. Дьяков // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы VI междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 7–8 окт. 2023 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2024. – С. 262–276.*
10. *Numerical Analysis of Aerodynamic Characteristics of Hyperloop System / J.S. Oh [et al.] // Energies. – 2019. – Vol. 12, iss. 3. – 518.*
11. *Von Kármán, Th. Über den Mechanismus des Widerstands den ein bewegter Körper in einer Flüssigkeit erfährt / Th. Von Kármán // Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen: Mathematisch-Physikalische Klasse. – Berlin: Weidmannsche Buchhandlung, 1911. – S. 509–517.*
12. *Van Druenen, T. Aerodynamic Analysis of Uphill Drafting in Cycling / T. van Druenen, B. Blocken // Sports Engineering. – 2021. – Vol. 24. – 10.*



УДК 624.195+629.7

Аэродинамика ультраскоростного юнимобиля при движении в тоннеле эстакады общепланетарного транспортного средства

А.Э. Юницкий[1,2]
доктор философии транспорта

А.А. Щербич[2]

И.И. Дьяков[2]

[1] ООО «Астроинженерные технологии»,
г. Минск, Беларусь

[2] ЗАО «Струнные технологии»,
г. Минск, Беларусь

Оценено влияние кольцевой оболочки транспортного тоннеля на аэродинамические характеристики подвижного состава. Определены оптимальные соотношения площадей миделя транспортного средства и поперечного сечения тоннеля. Рассчитаны и установлены предельные значения скорости движения до запирания потока газовой среды с целью исключения резкого увеличения мощности аэродинамического сопротивления и скачкообразного снижения энергоэффективности подвижного состава.

Выявлено принципиальное отличие аэродинамических процессов, протекающих при движении в открытой среде и тоннеле, что в дальнейшем позволит уже на этапе эскизного проектирования высокоскоростных и ультраскоростных транспортных систем обоснованно использовать данные расчётов для формирования требований верхнего уровня.

Ключевые слова:
аэродинамика, взлётно-посадочная эстакада, газовая среда, запирание потока, общепланетарное транспортное средство (ОТС), тоннель, тоннельный транспорт, ультраскоростное транспортное средство, форвакуумный тоннель.

UDC 624.195+629.7

Aerodynamics of Ultrahigh-Speed uPod when Traveling in Tunnel of General Planetary Vehicle Overpass

A. Unitsky[1,2]
Dr. of Philosophy
in Information Technologies
(Transport)

A. Shcherbich[2]

I. Dzyakau[2]

[1] Astroengineering Technologies LLC,
Minsk, Belarus

[2] Unitsky String Technologies Inc.,
Minsk, Belarus

This study evaluates the impact of the annular shell of the transport tunnel on the aerodynamic characteristics of rolling stock. The optimal ratios between the midsection area of the vehicle and the cross-sectional area of the tunnel have been identified. The maximum movement speeds before gas medium flow blockage have been calculated to prevent a sharp increase in aerodynamic resistance and a sudden decline in the energy efficiency of the rolling stock.

The research highlights fundamental differences in aerodynamic processes that occur in an open environment versus those in a tunnel. This understanding will facilitate the effective use of calculated data during the preliminary design phase of high-speed and ultrahigh-speed transport systems, enabling the formulation of upper-level requirements.

Keywords:
aerodynamics, flow blockage, forevacuum tunnel, gas medium, General Planetary Vehicle (GPV), takeoff and landing overpass, tunnel, tunnel transport, ultrahigh-speed vehicle.

Введение

Общепланетарное транспортное средство (ОТС) – грандиозный инженерный проект, способный вывести человечество на новый виток развития технологий [1]. Взлётно-посадочная эстакада ОТС, пролегающая по экватору планеты, связывает два крупных континента, а также пересекает острова, население которых приближается к 300 млн. Данное сооружение наилучшим образом подходит для осуществления межконтинентальных грузопассажирских перевозок. При этом конструкция эстакады предполагает размещение сразу нескольких путевых структур.

Применение ультраскоростной транспортной структуры, выполненной в виде форвакуумного тоннеля, позволит организовать оперативное межконтинентальное сообщение. Операционные скорости ультраскоростного транспорта, сопоставимого с магистральной авиацией, гарантируют конкурентную интенсивность перевозочных процессов, а разрежённая газовая среда – оптимальный уровень энергозатрат на преодоление аэродинамического сопротивления. В отличие от самолёта ультраскоростному рельсовому транспортному средству, в частности юнимобилю, не требуется энергия для обеспечения подъёмной силы за счёт скорости. Эту функцию принимают на себя стальные колёса, энергия на сопротивление качению которых в совокупности с вышеописанными факторами делает данный транспорт наиболее энергоэффективным в мире.

Самолёт использует в качестве топлива токсичный авиационный керосин, сжигая его в турбине в самых уязвимых нижних слоях стратосферы с образованием инверсионного следа и разрушением защитного озонового слоя планеты. В то же время тоннельное исполнение транспортного комплекса предполагает полную изоляцию вредных выбросов и продуктов износа от попадания их в окружающую среду. Закрытое пространство сооружения предоставляет защиту не только изнутри, но и снаружи. Движению транспорта не препятствуют ни дождь и снег, ни град и наледь, ни туман и ветер, ни птицы и животные.

Океанические участки эстакады ОТС могут оснащаться высокоскоростными [2] тоннелями. В отличие от ультраскоростного высокоскоростной юнимобиль (беспилотный рельсовый электромобиль на стальных колёсах [2]) сможет перемещаться уже в среде атмосферного воздуха. Операционная скорость 600 км/ч позволит всё так же эффективно осуществлять перевозочные процессы, не требуя дополнительных затрат на создание и поддержание необходимого разряжения газовой среды.

На континентальных участках эстакады ОТС целесообразно использовать и менее скоростные путевые структуры, имеющие ответвления в глубь материка для налаживания развитого транспортного сообщения [3].

В основу концепции разработки всех типов транспортных систем заложены критерии, обеспечивающие повышение скорости перевозок и соблюдение показателей эффективности и норм безопасности [4]. Оптимальным будет считаться транспортный комплекс, характеризующийся минимальными затратами на проектирование и строительство, а также низкими эксплуатационными издержками.

Ввиду перемещения со скоростью, сравнимой с авиационной либо превышающей её, важно понимать отличительные особенности движения ультраскоростного транспорта в замкнутом пространстве тоннеля и в открытой окружающей среде.

Анализ результатов исследований показал, что вопрос влияния тоннеля на аэродинамические характеристики рельсового транспорта привлёк внимание учёных совсем недавно. Согласно [5] старт активного изучения зафиксирован в 1994 г. Интерес к данной тематике рос пропорционально повышению операционных скоростей движения поездов, а также увеличению протяжённости участков тоннелей.

Несмотря на то что проблематика изысканий обширна, отсутствовало комплексное видение концепции, авторы фокусировались на отдельных аспектах. В основном для учёных интерес представляли процессы въезда в тоннель и выезда из него [6–14], являющиеся переходными, с резкими изменениями условий работы транспорта [15–21]. В такие моменты наблюдается максимальное возмущение подвижного состава, сопровождающееся вибрациями, колебаниями и шумовыми волнами. По этой причине в большинстве трудов акцент сделан на нивелировании негативных эффектов.

Далее по численности публикаций следует анализ особенностей встречного разъезда транспорта в двухпутном тоннеле [22–27], поскольку в момент встречи поездов вновь возникает переходный процесс, но несколько иного характера: при сближении двух протяжённых транспортных средств происходит встреча потоков газовой среды тоннеля, а также изменяется площадь проходного сечения, что приводит к резкой дестабилизации обоих подвижных составов.

Остальные аспекты движения в тоннелях изучены с меньшей степенью детализации ввиду того, что протяжённость таких участков обычно не превышает 1 % от общей длины маршрута.

Цель настоящего исследования – на базе выполненных модельных испытаний определить воздействие тоннельного эффекта на аэродинамические характеристики транспортного средства, рассмотреть влияние соотношений площадей миделя фюзеляжа высокоскоростного юнимобиля и поперечного сечения тоннеля, совмещённого с экваториальной эстакадой ОТС, и сформировать предложения по оптимальному показателю для каждого скоростного диапазона движения, а также установить рамки по ограничению скорости для всех вариантов соотношений площадей сечений. Полученные данные будут использоваться для разработки базовых решений, обеспечивающих максимальную энергоэффективность перевозочного процесса в составе экваториальной эстакады ОТС.

Влияния тоннеля на аэродинамические характеристики транспортного средства

Эффект запирания потока в тоннеле

Во время разгона транспортного средства в тоннеле до операционных скоростей движения скорость воздуха, проходящего в сечении между транспортным средством и тоннелем, может равняться скорости звука задолго до достижения транспортом скорости Маха [28]. Поток газа, проходящий в область с более низким давлением через аэродинамическое сопротивление, связанное с уменьшением поперечного сечения потока, увеличивает свою скорость. Если в передней по ходу движения части потока (до его сужения) соблюдаются дозвуковые течения, то в месте сужения скорость потока возрастает (согласно закону сохранения масс). В то же время эффект Вентури приводит к тому, что статическое давление, а следовательно, и плотность в месте сужения падает. При некотором значении скорости газовой среды возникают условия, при которых дальнейшее уменьшение давления после сужения не влечёт увеличения массового расхода (при неизменном давлении перед сужением).

Аэродинамические характеристики юнимобиля обусловлены его скоростью и могут существенно меняться в зависимости от соотношений размеров транспортного средства и тоннеля [29]. Критическое значение запирания потока при скорости движения юнимобиля до 1 Маха определяется изоэнтропическим пределом по формуле [30]:

$$\frac{A_т}{A_{пр}} = \frac{1}{M_0}\left[\frac{1+\frac{\gamma-1}{2}M_0^2}{\frac{\gamma+1}{2}}\right]^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}}, \quad (1)$$

где $A_т$ – площадь сечения тоннеля, м^2;

$A_{пр}$ – площадь проходного сечения, $A_{пр} = A_т - A_{тс}$, м^2;

$A_{тс}$ – лобовая проекция площади поперечного сечения (далее – мидель) юнимобиля, м^2;

M_0 – число Маха;

γ – показатель адиабаты газа.

Число Маха определяется по формуле:

$$M_0 = \frac{v}{v_{зв}}, \quad (2)$$

где v – скорость юнимобиля, м/с;

$v_{зв}$ – скорость звука в газе, м/с.

Скорость звука является одним из важных параметров газа и зависит от его состава, температуры и давления. Именно она обусловливает скорость передачи давления в газе и, следовательно, способствует распространению аэродинамических сил в тоннеле.

Скорость звука определяется по формуле:

$$v_{зв} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}, \quad (3)$$

где R – универсальная газовая постоянная, составляющая 8,314 Дж/(моль·К);

T – температура, К;

M – молярная масса, кг/моль.

Предел Кантровица описывается выражением (при скорости движения выше 1 Маха):

$$\frac{A_т}{A_{пр}} = \frac{1}{\left[\frac{\gamma-1}{\gamma+1}\right]^{\frac{1}{2}}\left[\frac{2\gamma}{\gamma+1}\right]^{\frac{1}{\gamma-1}}} \times \frac{1}{\left[1+\frac{2}{\gamma-1}\times\frac{1}{M^2}\right]^{\frac{1}{2}}\left[1-\frac{\gamma-1}{2\gamma}\times\frac{1}{M^2}\right]^{\frac{1}{\gamma-1}}}. \quad (4)$$

При проектировании тоннельных транспортных систем важно исключить запирание потока, так как при его возникновении существенно возрастают энергозатраты на преодоление аэродинамического сопротивления. Формула (1) базируется на соотношении площадей тоннеля и проходного сечения, что вызывает затруднение в восприятии, поскольку требует определять площадь миделя через разницу их значений. Для удобства в исследовании будем использовать коэффициент $\beta_т$, равный соотношению площадей миделя юнимобиля и поперечного сечения тоннеля.

Таким образом, согласно формуле (4) получаем данные, необходимые для построения графика изоэнтропического

предела (рисунок 1) в диапазоне $\beta_т$ от 0 до 1, позволяющего установить предельную скорость движения юнимобиля и других транспортных средств в тоннеле с воздушной газовой средой.

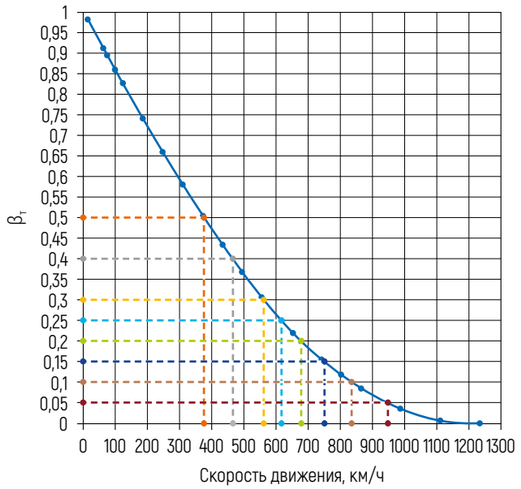


Рисунок 1 – График изоэнтропического предела воздушной газовой среды

График даёт возможность также определить соотношение площадей миделя юнимобиля и поперечного сечения тоннеля для достижения проектных скоростей функционирования транспортного комплекса (таблица 1).

В частности, при $\beta_т$, равном 0,5, запирание потока произойдёт на скорости 376,5 км/ч, что делает такое соотношение непригодным в случае необходимости эксплуатации ультраскоростного транспорта. Коэффициент 0,05 обеспечивает возможность движения без запирания потока со скоростями до 949,3 км/ч и позволяет организовать движение гиперскоростного транспорта.

Главным показателем энергоэффективности транспортного средства и тоннеля, в котором оно движется, является значение аэродинамической мощности P, требующейся для преодоления сопротивления газовой среды:

$$P = Fv, \tag{5}$$

где F – сила лобового сопротивления, Н.

$$F = C_x \frac{\rho v^2}{2} A_{тс}, \tag{6}$$

где C_x – коэффициент аэродинамического сопротивления, устанавливаемый натурными или виртуальными испытаниями;

ρ – плотность газовой среды, кг/м^3.

Формулы (5) и (6) демонстрируют, что существенное влияние на мощность, необходимую для преодоления аэродинамического сопротивления, оказывает скорость, с которой перемещается транспортное средство, поскольку итоговый результат имеет в неявном виде кубическую зависимость. Исходя из формулы (6), для снижения аэродинамических энергозатрат при высокоскоростном движении нужно оперировать и значением показателя C_x. Для этих целей проводится целая серия аэродинамических испытаний, позволяющая определить оптимальное сочетание коэффициента C_x, внешнего облика юнимобиля и компоновочного объёма его фюзеляжа.

Для проведения дальнейших исследований перемещения подвижного состава в атмосферном воздухе и иных газовых средах с пониженным давлением требуется сформулировать законы, которым подчиняется газовая среда. Для этого оценивается значение критерия, характеризующего степень разрежённости газового потока, – числа Кнудсена (Kn) [31].

В зависимости от его величины выбирается методика расчёта движения газовой среды. Если Kn ≪ 1 (теоретически Kn → 0), то справедливо основное предположение гидроаэромеханики о сплошности (континуальности) среды, значит, при расчёте течения газовой среды можно пользоваться уравнениями Эйлера или Навье – Стокса с соответствующими граничными условиями [32].

Таблица 1 – Расчётная максимальная скорость движения юнимобиля без запирания потока газовой среды

Показатель	Значение коэффициента $\beta_т$							
	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05
Максимальная скорость движения, Mах	0,305	0,378	0,458	0,503	0,553	0,61	0,679	0,769
Максимальная скорость движения, км/ч	376,5	466,6	565,7	620,8	682,7	753	838,2	949,3

Практически эти методы справедливы и при Kn ≤ 10^{-3}. Если Kn ≫ 1 (теоретически Kn → ∞), то аэродинамические характеристики обтекаемых разрежённым газом тел следует рассчитывать, не рассматривая столкновений молекул между собой, а учитывая лишь их удары о твёрдую поверхность (свободное молекулярное течение) [33].

Число Kn определяется по формуле:

$$\mathrm{Kn} = \frac{\lambda}{L}, \tag{7}$$

где λ – средняя длина свободного пробега молекул в газе, м;

L – характерный размер течения (диаметр тоннеля), м.

Средняя длина свободного пробега молекул в газе равна:

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}\pi\sigma^2 n}, \tag{8}$$

где σ – диаметр молекулы, для воздуха равный 4×10^{-10} м;

n – концентрация молекул.

Концентрация молекул определяется по формуле:

$$n = \frac{p}{kT}, \tag{9}$$

где p – исследуемое значение давления газовой среды;

k – постоянная Больцмана, равная $1{,}38 \times 10^{-23}$ Дж/К.

Подставив формулу (9) в (8), получим выражение:

$$\lambda = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi\sigma^2 p}. \tag{10}$$

Средняя длина свободного пробега молекул атмосферного воздуха составит $5{,}6 \times 10^{-8}$ м, а число Kn – $1{,}9 \times 10^{-8}$ [34], поскольку Kn ≪ 1 (Kn → 0). Таким образом, при расчёте течения газовой среды допустимо использовать уравнения Эйлера или Навье – Стокса. Данное заключение будет актуально для диапазона давлений воздушной газовой среды от 1 Па до атмосферного (при необходимости изучения аэродинамических процессов в условиях пониженного давления).

Влияние кольцевого экранного эффекта тоннеля

Аэродинамические характеристики тоннельного транспорта надо рассматривать в контексте его движения в тоннеле, поскольку в этом случае протекают более сложные физические процессы, чем при перемещении в открытом пространстве [29, 35, 36]. Следует учитывать изменение аэродинамических свойств подвижного состава, эффект запирания потока, распространение фронта давления внутри сооружения, возникновение пульсирующего потока, усиление уровня шума и вибраций, на что будет тратиться дополнительная энергия. При наличии открытых участков маршрута требуется уделять дополнительное внимание зонам входа в тоннель и выхода из него.

В тоннельном комплексе предполагается движение юнимобилей во всех скоростных диапазонах, поэтому нужно понимать, какое влияние оказывает тоннель на аэродинамические характеристики транспортного средства. С точки зрения улучшения аэродинамики стоит стремиться к увеличению проходного сечения тоннеля [37–40]. Однако данное предложение сопряжено с увеличением диаметра сооружения и, соответственно, повышением его материалоёмкости и стоимости. В связи с этим необходимо соблюсти разумный баланс между первоначальными капитальными затратами на строительство и эксплуатационными расходами на компенсацию возрастания аэродинамического сопротивления.

Влияние тоннеля на аэродинамические свойства высокоскоростного юнимобиля рассмотрено для диапазона эксплуатационных скоростей от 10 до 175 м/с, где верхний предел будет соответствовать максимальной целесообразной скорости эксплуатации подвижного состава в среде атмосферного воздуха. В качестве оптимальной модели обводов корпуса юнимобиля применена оболочка с наиболее аэродинамически эффективными формами (рисунок 2). Мидель имеет очертание круга, длина фюзеляжа равна 20 м, при этом длина каждого обтекателя (носового и кормового) составляет 6 м.

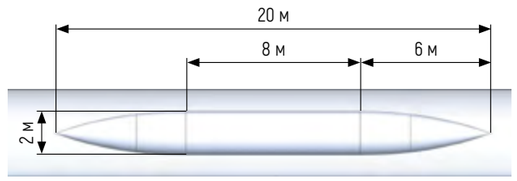


Рисунок 2 – Модель юнимобиля, используемая для оценки влияния кольцевого экранного эффекта тоннеля

В расчётах для определения соотношений площадей миделя юнимобиля и поперечного сечения тоннеля за константу принят диаметр фюзеляжа. Наибольший интерес представляет диапазон соотношений от 0 до 0,5 с шагом 0,05. При этом значения, стремящиеся к нулю, использовались для нахождения эквивалента движения в открытой окружающей среде, где отсутствует экранный эффект.

На основании расчётных данных, полученных при проведении виртуальных испытаний, построен график, иллюстрирующий влияние экранного эффекта на аэродинамические характеристики юнимобиля для выбранного диапазона скоростей движения в зависимости от соотношений площадей миделя транспортного средства и поперечного сечения тоннеля (рисунок 3).

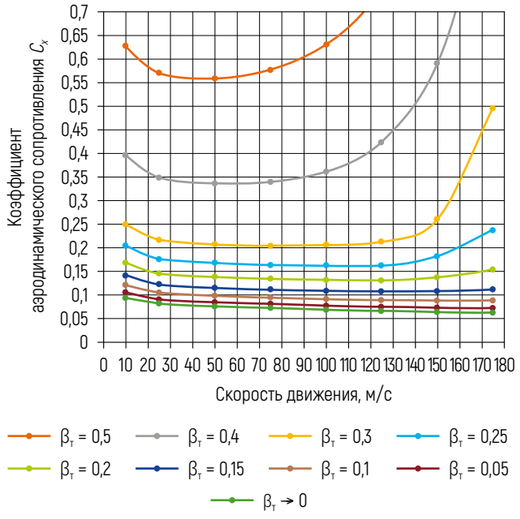


Рисунок 3 – Влияние экранного эффекта на коэффициент аэродинамического сопротивления C_x

При $\beta_т$ = 0,05 прослеживается лишь минимальный рост аэродинамического сопротивления по сравнению с движением юнимобиля в открытой воздушной среде. Однако дальнейшее увеличение показателя приводит к более ощутимому изменению коэффициента C_x. Следует отметить, что при движении транспорта в открытой среде кривая значений C_x стремится к снижению с ростом скорости на всём рассматриваемом диапазоне. Полученные данные коррелируют с натурными аэродинамическими испытаниями. Вместе с тем при увеличении $\beta_т$ наблюдается обратная тенденция. При превышении юнимобилем скорости 125 м/с (450 км/ч) начинается рост значений C_x. При этом чем меньше зазор между юнимобилем и внутренней стенкой тоннеля, тем на более низкой скорости проявляется такой эффект и тем динамичнее происходит увеличение коэффициента C_x в связи с приближением условий возникновения запирания потока (рисунок 4).



Рисунок 4 – Зависимость коэффициента аэродинамического сопротивления C_x от скорости движения транспортного средства [41]

Для достижения энергоэффективности движения необходимо обеспечивать как можно меньшее значение соотношений, т. е. стремиться к показателю 0,05 и даже ниже. В этом случае дополнительные затраты на преодоление аэродинамического сопротивления не превысят 15 %. Однако следует обратить внимание на существенную разницу в габаритах тоннеля и юнимобиля. Конструкция транспортного средства, а точнее, его мидель обусловит итоговые размеры сечения тоннеля. Делать мидель меньше, чем нужно для комфортного размещения пассажиров, нецелесообразно. По этой причине именно компоновка пассажирского салона с учётом всех предъявляемых к конструкции требований и становится исходным параметром в определении итоговой площади поперечного сечения тоннеля.

На рисунке 5 представлена масштабная иллюстрация изменений габаритов тоннеля для всего диапазона рассматриваемых соотношений.

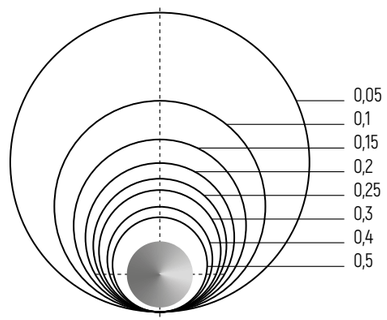


Рисунок 5 – Визуализация диапазона соотношений площадей миделя юнимобиля и поперечного сечения тоннеля

Таким образом, стремление минимизировать влияние кольцевого экранного эффекта ведёт к значительному росту размера тоннеля. Например, для юнимобиля с диаметром фюзеляжа круглого сечения, равным 2 м, эквивалентный внутренний диаметр тоннеля при соотношении 0,05 составит 9 м. Строительство подобного объекта сопряжено с различного рода трудностями. В первую очередь возрастёт материалоёмкость. Большой диаметр негативно скажется на воспринимаемых тоннелем ветровых и снеговых нагрузках, что потребует существенного усиления его каркаса и промежуточных опор. Следовательно, при выборе проектных габаритов транспортной эстакады нужно провести комплексный анализ эффективности принятых решений по улучшению аэродинамических характеристик в сравнении с дополнительными финансовыми вложениями, необходимыми для увеличения диаметра тоннеля.

Оценить численное изменение аэродинамических характеристик юнимобиля в тоннеле для всего диапазона скоростей позволяют данные проведённых аэродинамических расчётов (таблица 2).

Как видно, зона приемлемых ухудшений аэродинамических характеристик (не более чем в два раза) находится в диапазоне соотношений от 0,05 до 0,2. Его следует применять для движения со скоростью до 900 км/ч.

Граница условно приемлемых ухудшений располагается в диапазоне значений от 0,25 до 0,3, который уместен для движения со скоростью до 500 км/ч. Его допустимо использовать, например, в зонах, где расстояние между станциями минимально и на максимальной скорости транспорт движется не более 50 % времени относительно цикла «разгон – торможение».

Кроме того, данный диапазон оптимален при наличии проектных ограничений, в частности в зоне плотной городской застройки, не предполагающей движение на высокой скорости, либо при прохождении тоннеля по горам с большими продольными уклонами.

Диапазон соотношений от 0,4 и выше приводит к существенному ухудшению аэродинамических характеристик. Он не допустим при высокоскоростном движении, и в случае проектной необходимости на таком участке потребуется снижение эксплуатационных скоростей. Однако указанный диапазон может быть применён для габаритного тихоходного транспорта с рабочей скоростью не более 100 км/ч. Соответственно, общие аэродинамические потери будут значительно меньше, чем при высокоскоростном движении, а ухудшение аэродинамических характеристик сопоставимо с потерями на качение стальных колёс юнимобиля.

Нужно, чтобы общая оценка учитывала и интенсивность движения на линии. Для транспортных комплексов с интервалами движения 1 мин и чаще должен использоваться тоннель как можно большего размера; при низкой проектной загрузке допускается меньший диаметр.

Данные таблицы 2 демонстрируют существенное изменение аэродинамических характеристик транспортных средств, особенно в диапазоне соотношений площадей миделя юнимобиля и поперечного сечения тоннеля, близких к 0,5. Таким образом, важно уделять надлежащее внимание обводам транспортного средства. Аэродинамичность формы подвижного состава должна обеспечивать минимально возможные значения коэффициента аэродинамического сопротивления C_x.

Таблица 2 – Кратность роста коэффициента аэродинамического сопротивления C_x юнимобиля в тоннеле относительно движения в открытом пространстве

Скорость юнимобиля, м/с (км/ч)	Кратность роста C_x относительно движения в открытом пространстве для различных $\beta_т$							
	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5
10 (36)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,2	2,6	4,2	6,6
25 (90)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,1	2,6	4,2	6,9
50 (180)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,2	2,7	4,4	7,3
75 (270)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,2	2,8	4,6	7,8
100 (360)	1,1	1,3	1,5	1,9	2,3	2,9	5,1	9
125 (450)	1,1	1,3	1,6	2	2,4	3,2	6,3	11
150 (540)	1,1	1,4	1,7	2,1	2,8	4	9,1	14,9
175 (630)	1,2	1,4	1,8	2,4	3,8	7,9	15,5	19,6

В связи с этим в дальнейших исследованиях необходимо рассмотреть конструктивные особенности рельсовых юнимобилей, представляющие наилучшие аэродинамические решения для тоннельного транспорта.

Заключение

Авторами проведён анализ применения тоннельного транспортного комплекса в составе экваториальной эстакады ОТС с точки зрения энергоэффективности и безопасности. Определены отличительные признаки движения в открытой среде и тоннеле. Исследовано, насколько тоннель меняет аэродинамические характеристики транспортного средства. Установлено существенное влияние проходного сечения на аэродинамическое сопротивление движению. Для количественной оценки показателей в качестве определяющего параметра было задано соотношение площадей миделя юнимобиля и поперечного сечения тоннеля. Выявлено: чем больше этот параметр, тем сильнее возрастает сопротивление движению в тоннеле из-за кольцевого экранного эффекта.

На основании расчётов разработаны рекомендации по применимости соотношений. Значения 0,4 и выше могут использоваться для транспорта со скоростью до 150 км/ч или до 250 км/ч с большим интервалом движения. При организации высокоскоростных либо интенсивных перевозочных процессов рекомендуется выбирать диапазон соотношений от 0 до 0,25. В этом случае представляется возможным получить компактный размер тоннеля при приемлемых аэродинамических потерях. Дальнейшее увеличение скорости в указанном диапазоне соотношений способно привести к запиранию воздушного потока и резкому скачку требуемой мощности на преодоление аэродинамического сопротивления. В связи с этим для скорости движения свыше 500 км/ч следует рассматривать диапазон соотношений 0,05–0,15.

В ходе данной работы также установлены предельные скорости транспорта во всём диапазоне соотношений. Например, для значения, равного 0,5, расчётная скорость движения юнимобиля, при которой произойдёт запирание потока, составит 376,5 км/ч, а для соотношения 0,1 – 838,2 км/ч.

Список основных источников

1. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.*
2. *Высокоскоростной струнный транспорт uST для перевозки пассажиров: преимущества и перспективы развития / А.Э. Юницкий [и др.] // Инновационный транспорт. – 2022. – № 2 (44). – С. 3–7.*
3. *Юницкий, А.Э. Транспортные системы «второго уровня»: современное состояние и перспективы развития / А.Э. Юницкий, С.В. Артюшевский, Д.И. Бочкарёв // Горная механика и машиностроение. – 2022. – № 4. – С. 39–56.*
4. *Юницкий, А.Э. Обеспечение экономической безопасности на примере развития инновационных решений в транспортной отрасли / А.Э. Юницкий, А.Г. Климков, В.Н. Гаранин // Тенденции экономического развития в XXI веке: материалы V междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч. – Минск: БГУ, 2023. – Ч. 1. – С. 549–552.*
5. *Aerodynamics of Railway Train/Tunnel System [Electronic resource]. – Mode of access: https://researchrabbitapp.com. – Date of access: 15.07.2024.*
6. *Aerodynamics of Railway Train/Tunnel System: A Review of Recent Research [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666123320300179. – Date of access: 15.07.2024.*
7. *Rapid Calculation of the Compression Wave Generated by a Train Entering a Tunnel with a Vented Hood / M.S. Howe [et al.] // Journal of Sound and Vibration. – 2006. – Vol. 297, iss. 1–2. – P. 267–292.*
8. *Rapid Calculation of the Compression Wave Generated by a Train Entering a Tunnel with a Vented Hood: Short Hoods / M.S. Howe [et al.] // Journal of Sound and Vibration. – 2008. – Vol. 311, iss. 1–2. – P. 254–268.*
9. *Rabani, M. Numerical Analysis of Airflow Around a Passenger Train Entering the Tunnel / M. Rabani, A.K. Faghih // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2015. – Vol. 45. – P. 203–213.*
10. *Bellenoue, M. Blind Hood Effects on the Compression Wave Generated by a Train Entering a Tunnel / M. Bellenoue, B. Auvity, T. Kageyama // Experimental Thermal and Fluid Science. – 2001. – Vol. 25, iss. 6. – P. 397–407.*
11. *Muñoz-Paniagua, J. Genetically Aerodynamic Optimization of the Nose Shape of a High-Speed Train Entering a Tunnel / J. Muñoz-Paniagua, J. García, A. Crespo // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2014. – Vol. 130. – P. 48–61.*
12. *Efficient 3D Numerical Prediction of the Pressure Wave Generated by High-Speed Trains Entering Tunnels / D. Uystepruyst [et al.] // Computers and Fluids. – 2011. – Vol. 47, iss. 1. – P. 165–177.*
13. *Effect of Ambient Wind on Pressure Wave Generated by High-Speed Train Entering a Tunnel / X. Zhou [et al.] // Journal of Central South University. – 2017. – Vol. 24, iss. 6. – P. 1465–1475.*
14. *Miyachi, T. Model Experiment and Analysis of Pressure Waves Emitted from Portals of a Tunnel with a Branch / T. Miyachi, T. Fukuda, S. Saito // Journal of Sound and Vibration. – 2014. – Vol. 333, iss. 23. – P. 6156–6169.*
15. *Shin, C.H. Numerical Study of Flow Characteristics of the High-Speed Train Entering into a Tunnel / C.H. Shin, W.G. Park // Mechanics Research Communications. – 2003. – Vol. 30, iss. 4. – P. 287–296.*
16. *Transient Loads and Their Influence on the Dynamic Responses of Trains in a Tunnel / T. Liu [et al.] // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2017. – Vol. 66. – P. 121–133.*
17. *Camelli, F.E. Modeling Subway Air Flow Using CFD / F.E. Camelli, G. Byrne, R. Löhner // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2014. – Vol. 43. – P. 20–31.*
18. *A Wind-Tunnel Methodology for Assessing the Slipstream of High-Speed Trains / J.R. Bell [et al.] // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2017. – Vol. 166. – P. 1–19.*
19. *An Investigation of Lateral Vibration Caused by Aerodynamic Continuous Force on High-Speed Train Running Within Tunnels [Electronic resource] / T. Ishihara [et al.] // Proceedings of the World Congress on Railway Research, Florence, 16–19 Nov. 1997. – Mode of access: https://www.rssb.co.uk/spark/sparkitem/pb002570. – Date of access: 15.07.2024.*
20. *Nondimensional Maximum Pressure Gradient of Tunnel Compression Waves Generated by Offset Running Axisymmetric Trains / T. Miyachi [et al.] // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2016. – Vol. 157. – P. 23–35.*
21. *Effect of Train Length on Fluctuating Aerodynamic Pressure Wave in Tunnels and Method for Determining the Amplitude of Pressure Wave on Trains / J. Niu [et al.] // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2018. – Vol. 80. – P. 277–289.*
22. *Field Measurements of Aerodynamic Pressures in High-Speed Railway Tunnels / F. Liu [et al.] // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2018. – Vol. 72. – P. 97–106.*
23. *Influence of Tunnel Length on the Pressure Wave Generated by High-Speed Trains Passing Each Other / Y. Wang [et al.] // Science China. Technological Sciences. – 2012. – Vol. 55, iss. 1. – P. 255–263.*
24. *Research on Running Stability of CRH3 High-Speed Trains Passing by Each Other / Z. Sun [et al.] // Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics. – 2014. – Vol. 8, iss. 1. – P. 140–157.*
25. *Nonlinear Aerodynamic Loads and Dynamic Responses of High-Speed Trains Passing Each Other in the Tunnel–Embankment Section Under Crosswind / D. Ouyang [et al.] // Nonlinear Dynamics. – 2023. – Vol. 111, iss. 13. – P. 11989–12015.*
26. *Liu, K. The Characteristics of Air Wave Induced by Two High-Speed Trains Passing by Each Other in a Tunnel / K. Liu, L. Jing, M. Ren // Advances in Mechanical Engineering. – 2018. – Vol. 10, iss. 3.*
27. *Aerodynamic Performance and Dynamic Response of High-Speed Trains Passing by Each Other on Cable-Stayed Bridge Under Crosswind / Q. Zhang [et al.] // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2024. – Vol. 247. – 105701.*
28. *Jing, L. The Transient Response of Car Body and Side Windows for High-Speed Trains Passing by Each Other in a Tunnel / L. Jing, K. Liu, M. Ren // Composites. Part B: Engineering. – 2019. – Vol. 166. – P. 284–297.*
29. *Юницкий, А.Э. Гиперскоростной тоннель экваториальной эстакады общепланетарного транспортного средства / А.Э. Юницкий, А.А. Щербич, И.И. Дьяков // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы VI междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 7–8 окт. 2023 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2024. – С. 262–277.*
30. *Ota, M. New Frontier of Engineering and Science Fields Pried by Arthur R. Kantrowitz / M. Ota // The Proceedings of Mechanical Engineering Congress, Japan. – 2016. – S2010105.*
31. *Anderson, J.D. Fundamentals of Aerodynamics / J.D. Anderson, Jr. – 6th ed. – New York: McGraw-Hill Education, 2017. – 1130 p.*
32. *Коган, М.Н. Динамика разрежённого газа. Кинетическая теория / М.Н. Коган. – М.: Наука, 1967. – 440 с.*
33. *Ganeshan, K. A Finite Element Discrete Boltzmann Method for High Knudsen Number Flows [Electronic resource] / K. Ganeshan, D.M. Williams. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/347965068_A_finite_element_discrete_Boltzmann_method_for_high_Knudsen_number_flows. – Date of access: 15.07.2024.*

34. *Knudsen Number Sensitivity to Pressure Drop in a Nanoscale Membrane [Electronic resource] / M.M. Ramalan [et al.]. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/367336464_Knudsen_Number_Sensitivity_to_Pressure_Drop_in_a_Nanoscale_Membrane. – Date of access: 15.07.2024.*
35. *Suzuki, M. Unsteady Aerodynamic Force Acting on High-Speed Trains in Tunnel / M. Suzuki // Quarterly Report of RTRI. – 2001. – Vol. 42, iss. 2. – P. 89–93.*
36. *Camelli, F.E. Modeling Subway Air Flow Using CFD / F.E. Camelli, G. Byrne, R. Löhner // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2014. – Vol. 43. – P. 20–31.*
37. *Gilbert, T. Gusts Caused by High-Speed Trains in Confined Spaces and Tunnels / T. Gilbert, C.J. Baker, A. Quinn // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2013. – Vol. 121. – P. 39–48.*
38. *Optimal Cross-Sectional Area Distribution of a High-Speed Train Nose to Minimize the Tunnel Micro-Pressure Wave / Y.C. Ku [et al.] // Structural Multidisciplinary Optimization. – 2010. – Vol. 42, iss. 6. – P. 965–976.*
39. *Choi, J.K. Effects of Nose Shape and Tunnel Cross-Sectional Area on Aerodynamic Drag of Train Traveling in Tunnels / J.K. Choi, K.H. Kim // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2014. – Vol. 41, iss. 1. – P. 62–73.*
40. *Reduction of Pressure Transients of High-Speed Train Passing Through a Tunnel by Cross-Section Increase / T. Wang [et al.] // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2018. – Vol. 183. – P. 235–242.*
41. *Post Flight Aerodynamic Analysis of the Experimental Vehicle PRORA USV 1 / G.C. Rufolo [et al.] // 15th AIAA International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference, Dayton, 28 Apr. – 1 May 2008. – Reston: AIAA, 2008. – P. 1–21.*



УДК 533.68+629.7

Аэродинамика подвижного состава в тоннельных структурах эстакады общепланетарного транспортного средства

А.Э. Юницкий[1,2]
доктор философии транспорта

А.А. Щербич[2]

И.И. Дьяков[2]

[1] ООО «Астроинженерные технологии», г. Минск, Беларусь

[2] ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Беларусь

Рассмотрены особенности технического облика рельсовых транспортных средств на стальных колёсах (юнимобили), подлежащие оптимизации с целью достижения максимальной энергоэффективности высокоскоростного движения по тоннельным структурам экваториальной эстакады общепланетарного транспортного средства.

Выявлено, что необходимы принципиальные отличия в подходах к формированию технического облика юнимобилей с учётом аэродинамических процессов, протекающих во время движения в тоннеле, например таких, как кольцевой экранный эффект. Определены энергоэффективные формы носовых и хвостовых обтекателей, оптимальное соотношение их длины и диаметра фюзеляжа круглого сечения, предпочтительные формы фюзеляжа, особенности конструктивного расположения шасси. В дальнейшем это позволит уже на этапе подготовки к эскизному проектированию высокоскоростных и ультраскоростных юнимобилей обоснованно использовать полученные данные для составления требований верхнего уровня.

Ключевые слова:
аэродинамика, высокоскоростной юнимобиль, общепланетарное транспортное средство (ОТС), тоннель, тоннельный транспорт, фюзеляж, шасси, экваториальная эстакада.

UDC 533.68+629.7

Aerodynamics of Rolling Stock in Tunnel Structures of General Planetary Vehicle Overpass

A. Unitsky[1,2]
Dr. of Philosophy in Information Technologies (Transport)

A. Shcherbich[2]

I. Dzyakau[2]

[1] Astroengineering Technologies LLC, Minsk, Belarus

[2] Unitsky String Technologies Inc., Minsk, Belarus

This study examines the technical pecularities of rail vehicles on steel wheels (uPods), emphasizing the need for their optimization to achieve maximum energy efficiency during high-speed travel along the tunnel structures of the General Planetary Vehicle equatorial overpass.

The analysis highlights that significant differences in design approaches for uPods are essential, particularly regarding the aerodynamic phenomena encountered during tunnel movement, such as the annular airfoil effect. Energy-efficient forms of nose and tail fairings, optimal ratio of their length and diameter of the round section fuselage, preferable fuselage shapes, peculiarities of the structural arrangement of the chassis have been determined. In the future it will allow already at the stage of preparation for preliminary design of high-speed and ultrahigh-speed uPods to reasonably use the obtained data for drawing up the upper level requirements.

Keywords:
aerodynamics, chassis, equatorial overpass, fuselage, General Planetary Vehicle (GPV), high-speed uPod, tunnel, tunnel transport.

Введение

Общепланетарное транспортное средство (ОТС) – новое поколение геокосмической транспортной инфраструктуры [1]. Предназначено для безракетной индустриализации ближнего космоса [2] и способно за один рейс доставлять на орбиту до 10 млн пассажиров и 10 млн тонн грузов для обеспечения работы геокосмической индустрии [3]. Поскольку ОТС имеет кольцевое исполнение и опоясывает земной шар по линии экватора длиной более 40 000 км, предусматривается обязательное равномерное распределение пассажиров и грузов по всей его длине до начала подъёма в космос. Следовательно, по экваториальной эстакаде ОТС необходимо организовать бесперебойное транспортное сообщение со скоростью, не меньшей, чем у магистрального авиалайнера. В этом случае не только будет налажена бесперебойная доставка пассажиров и грузов, но и снизится зависимость человечества от авиации, что сократит негативное воздействие на окружающую среду процессов сжигания в стратосфере авиационного керосина.

Движение со скоростью магистральной авиации требует беспрецедентного уровня безопасности. Применение тоннельных структур в составе экваториальной эстакады ОТС создаёт условия для функционирования высокоскоростного (до 360 км/ч) и ультраскоростного транспорта (до 600 км/ч). Тоннельное исполнение комплекса Струнного транспорта Юницкого способствует постоянству характеристик эксплуатации рельсового электромобиля на стальных колёсах – юнимобиля, исключая негативные воздействия со стороны окружающей среды, таких как ветер, осадки, птицы и др. [4]. Вместе с тем перемещение на высокой скорости предполагает необходимость преодолевать силы аэродинамического сопротивления, мощность на компенсирование которых зависит от скорости юнимобиля и конфигурации аэродинамических обводов его корпуса, а также от паразитного экранного эффекта, в данном случае кольцевого. Поскольку мощность на преодоление аэродинамического сопротивления имеет кубическую зависимость от скорости движения, то, например, для увеличения скорости юнимобиля с 300 до 900 км/ч потребуется в 27 раз большая мощность привода. Это существенная прибавка, которая влечёт за собой рост массогабаритных параметров подвижного состава, так как все компоненты тягового привода должны накапливать и отдавать значительно возросшее количество энергии.

Снижение затрат на преодоление аэродинамического сопротивления в среде атмосферного воздуха возможно лишь за счёт уменьшения площади лобовой проекции транспортного средства (миделя), а также оптимизации аэродинамических характеристик формы его фюзеляжа. Изменение площади миделя не всегда даёт ожидаемый результат, поскольку часто вызывает ухудшение аэродинамичности подвижного состава. По этой причине особые усилия следует направлять именно на подбор комплекса решений, обеспечивающих в совокупности минимальное значение коэффициента аэродинамического сопротивления C_x [5–14], что в конечном итоге обусловит кратное снижение мощности на преодоление аэродинамического сопротивления газовой среды.

Цель настоящего исследования – на основе выполненных испытаний определить облик тоннельного транспорта и выявить его конструктивные особенности, показывающие наилучшие аэродинамические характеристики. Полученные данные могут быть использованы для формирования базовых решений, гарантирующих максимальную энергоэффективность перевозочного процесса в составе тоннельного транспортно-инфраструктурного комплекса экваториальной взлётно-посадочной эстакады ОТС.

Влияние конструктива и компоновки колёсного движителя на аэродинамические характеристики юнимобиля

Практически все сухопутные транспортные средства имеют колёса. Даже для самолёта не удалось найти альтернативы, чтобы исключить их наличие в компоновке летательного аппарата. Колесо, выступающее за пределы кузова транспортного средства, вносит свой негативный вклад в общую аэродинамическую картину [15]. Именно по этой причине вскоре после взлёта самолёта его шасси складывается в технический отсек, который герметично закрывается, обеспечивая плавность течения воздушного потока по фюзеляжу. Следующий пример – из сферы автоспорта: болиды «Формулы-1» отличаются не только аэродинамичным фюзеляжем, но и оптимизированной формой рычагов подвески [16] (рисунок 1).

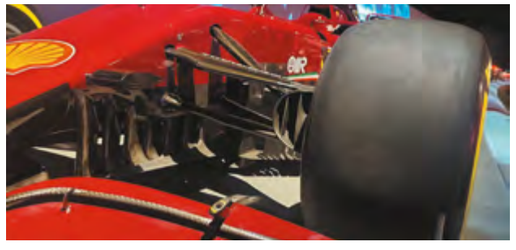
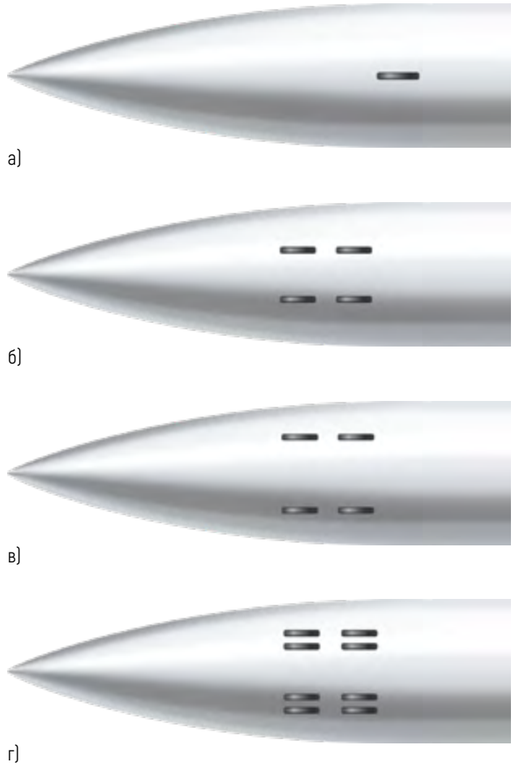


Рисунок 1 – Аэродинамически оптимизированные элементы шасси болида

Для оценки влияния колёс юнимобиля на аэродинамику выбраны схемы их расположения при эксплуатации на монорельсовой, бирельсовой и квадрорельсовой путевых структурах [17] (рисунок 2).



а)

б)

в)

г)

Рисунок 2 – Варианты шасси юнимобиля (вид снизу):
а – монорельсовое; б – бирельсовое с узкой колеёй;
в – бирельсовое с широкой колеёй; г – квадрорельсовое

Наличие колеса в транспортном средстве, с одной стороны, является объективной необходимостью, с другой – не лишено недостатков. Неподрессоренная масса колеса отрицательно влияет на ходовые динамические характеристики транспорта, а выступ за пределы фюзеляжа ухудшает его аэродинамику. Исходя из приведённых доводов, следует стремиться к уменьшению количества колёс. Для оценки их вклада в общую аэродинамику проведены расчёты характеристик компоновок колёсного движителя высокоскоростных юнимобилей в тоннеле, при соотношении площадей миделя юнимобиля и поперечного сечения тоннеля (β_1), равном 0,2. Такая величина β_1 соответствует верхней границе оптимального значения, обеспечивающего удовлетворительные параметры аэродинамического влияния размера поперечного сечения тоннеля. В процессе испытаний юнимобилей при ранее верифицированных граничных условиях [18] в среде атмосферного воздуха найдены численные показатели результирующих сил аэродинамического сопротивления, позволяющие вычислить коэффициент аэродинамичности формы, а также создать картины распределения скорости воздушного потока (рисунок 3). Полученные параметры сравнивались с данными продувки фюзеляжа круглого сечения без колёс (рисунок 4).

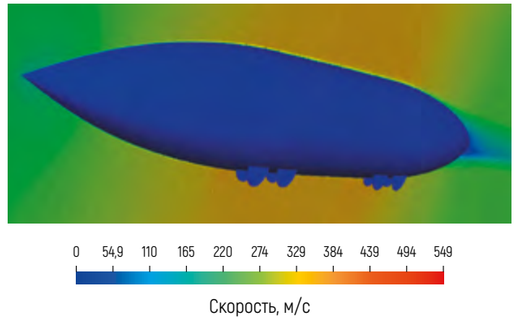


Рисунок 3 – Распределение скорости воздушного потока для модели, используемой с целью оценки влияния компоновки колёс на аэродинамику юнимобиля



C_x = 0,1443 C_x = 0,1593 C_x = 0,1773 C_x = 0,1945 C_x = 0,2333

Рисунок 4 – Влияние колёс и их арочного пространства на коэффициент аэродинамического сопротивления C_x юнимобиля при движении в тоннеле (β_1 = 0,2)

Как видно из численных значений (рисунок 4), даже наличие в конструкции моноколеса вызывает ухудшение аэродинамической характеристики фюзеляжа минимум на 10 %, что требует солидарного увеличения подводимой мощности на привод колёс для обеспечения движения с заданной скоростью. При квадрорельсовом исполнении

шасси юнимобиля относительный рост C_x достигает 62 %. Кроме того, видна разница между результатами для бирельсового исполнения с узкой и широкой колеёй, обусловленная усилением выступа колеса за пределы очертания фюзеляжа. Вследствие этого появляются обтекатели колёс и происходит увеличение площади миделя юнимобиля.

Использование монорельсовой компоновки транспортного средства накладывает ряд ограничений в процессе эксплуатации: влечёт за собой необходимость удерживания юнимобиля от падения на стоянках, а также вызывает проблему при его вынужденной остановке в тоннеле. Таким образом, оптимальный вариант представляется в виде бирельсовой компоновки тяговой тележки с узкой колеёй. В этом случае следует стремиться к минимальному размеру выступа колеса за пределы контура фюзеляжа при максимально возможной ширине колеи.

Поскольку в реальном транспорте колесо располагается в арочном пространстве фюзеляжа, нужно оценить и фактор влияния арки на аэродинамические характеристики. Для этих целей проведено моделирование арочного пространства, которое имеет размеры, обеспечивающие динамический ход колеса при движении юнимобиля (рисунок 5).

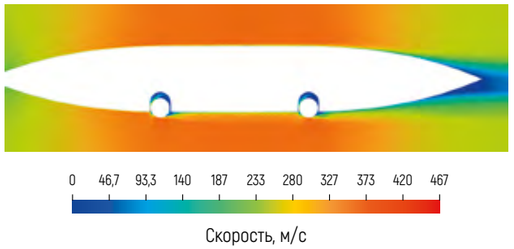


Рисунок 5 – Распределение скорости воздушного потока в тоннеле ($\beta_т$ = 0,2)

Результаты расчёта показали, что арка выбранной конфигурации не ухудшила аэродинамические характеристики транспорта. Напротив, она позволила несущественно снизить коэффициент C_x до значения, равного 0,1591, т. е. на 0,1 %. Это можно связать с тем, что увеличилась обтекаемость колеса за счёт арочного пространства фюзеляжа, которое исключает зону блокировки потока воздушной среды в месте примыкания колеса к фюзеляжу. Таким образом, после компоновки тяговой тележки следует провести оптимизацию геометрии арочного пространства с целью улучшения аэродинамики юнимобиля.

Оптимизация формы и длины обтекателя

Обтекатели транспортного средства оказывают непосредственное влияние на общие аэродинамические характеристики. Данным конструкциям уделяют особое внимание в случаях, если предполагается движение с высокой скоростью. Меры по снижению C_x позволяют пропорционально уменьшать затраты мощности на преодоление аэродинамического сопротивления. Существует два основных формообразующих профиля обтекателей – пулеобразный и *S*-образный. Обзор изображений высокоскоростной техники подтвердил, что чаще всего применяется *S*-образный профиль лобового обтекателя. Поскольку современные наземные транспортные средства большую часть пути пребывают в открытой среде, а тоннели проезжают лишь эпизодически, то в ходе исследований предстояло установить, какой профиль обтекателя обеспечит наилучшие аэродинамические характеристики тоннельного транспорта.

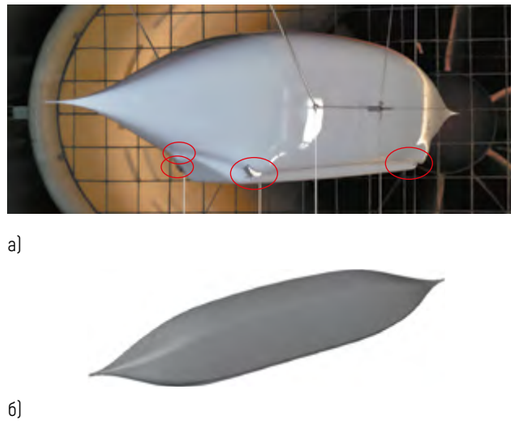
Для оценки адекватности расчётных данных принято решение провести верификацию математической модели на основе натурных испытаний модели высокоскоростного транспортного средства (ВТС), выполненной в масштабе 1 : 5 (таблица).

Таблица – Значения коэффициента аэродинамического сопротивления C_x ВТС, полученные при натурных и виртуальных испытаниях

Показатель	Характер испытаний	
	Натурные	Виртуальные
Скорость воздушного потока, м/с	50	
Число Маха	0,146	
Давление воздуха, Па	101 325	
C_x	0,072	0,054
Относительное изменение C_x, %	–	25

Результирующий коэффициент C_x модели при виртуальных испытаниях оказался на 25 % меньше, чем при натурных [19, 20]. К главным причинам расхождения полученных данных следует отнести некоторые конструктивные отличия в моделях (рисунок 6).

В расчётной модели, предназначенной для виртуальных испытаний, отсутствуют колёса, колёсные арки, вентиляционные отверстия и др. Как видно на рисунке 4, наличие колёс ухудшило C_x минимум на 23 %. Можно сделать вывод, что после приведения расчётной модели в полное соответствие реальной конструкции относительная погрешность снизится до 2–3 %. На основании этих заключений принимаем решение о тождественности результатов виртуальных и натурных испытаний.



а)

б)

Рисунок 6 – Модели для испытаний: а – натурных; б – виртуальных

Имея релевантную методику проведения виртуальных испытаний, выполним сравнительные аэродинамические расчёты моделей юнимобилей, обладающих цилиндрической формой в центральной части, но различающихся геометрией обтекателей (рисунок 7).



а) б)

Рисунок 7 – Формы обтекателей корпуса юнимобиля: а – пулеобразная; б – *S*-образная

Результаты виртуальных испытаний для трёх различных фюзеляжей (рисунки 6б, 7а, 7б) в открытой среде атмосферного воздуха приведены на рисунке 8.

Из графика можно сделать вывод, что для всех трёх форм наблюдается схожий характер изменения коэффициента C_x. Следует отметить, что ВТС имеет отличную от остальных вариантов форму миделя, а также существенно меньшую длину фюзеляжа. По этой причине результирующее значение C_x получилось несколько ниже.

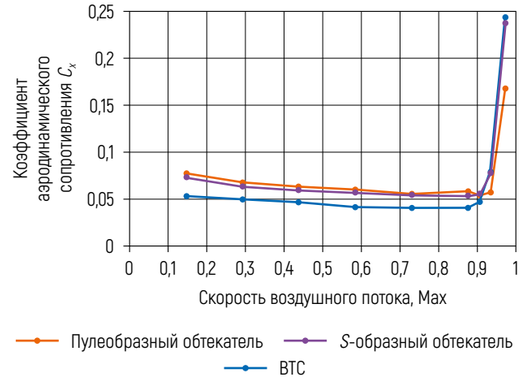


Рисунок 8 – Зависимость коэффициента аэродинамического сопротивления C_x юнимобилей с обтекателями различной формы от скорости воздушного потока в открытом пространстве

На скоростном интервале от 50 до 310 м/с для всех моделей наблюдается плавное сокращение C_x, а при подходе скорости потока к 310 м/с – некоторое увеличение этого показателя, однако его значение не больше, чем при начальной скорости потока 50 м/с. При дальнейшем росте скорости потока воздуха до скорости звука отмечается резкий скачок C_x, численный уровень которого многократно превосходит результаты на всём предыдущем диапазоне скоростей. Явление скачкообразного роста коэффициента установлено в [21] и обосновывается тем, что при приближении к границе области преодоления звукового барьера образуются ударные волны, из-за которых возникают зоны повышенного давления перед транспортным средством.

Характер изменения кривых, представленных на рисунке 8, соответствует данным графиков, приведённых в [21]. По итогам виртуальных испытаний наименьший коэффициент аэродинамического сопротивления наблюдается у модели ВТС на скорости до 0,9 Маха, а при дальнейшем увеличении скорости показатель C_x становится практически равным значению для модели с *S*-образной формой обтекателя. Низкий коэффициент C_x у ВТС объясняется тем, что длина его фюзеляжа (9,5 м) меньше, чем у моделей с *S*- и пулеобразной формой обтекателей (16 м). Что касается пулеобразной формы, то в диапазоне скоростей от 50 до 320 м/с она имеет лучший показатель C_x по сравнению с другими моделями, но при скорости 333 м/с становится эффективнее на 30 %. Следовательно, можем сделать заключение о рациональности применения *S*-образных обтекателей при движении в среде открытого воздуха на дозвуковых скоростях.

Необходимо проверить сохранение указанных выше закономерностей при движении транспорта в замкнутой среде тоннеля. Для обеспечения сопоставимости результатов виртуальных испытаний используем модели юнимобилей, изображённые на рисунке 7. Поскольку задачей исследования является получение данных для конкретных ситуаций, вычисления проведём для скорости движения, равной 280 м/с, при которой ещё не возникает скачкообразного роста аэродинамического сопротивления. Найденные показатели смогут применяться для тоннельного транспортного комплекса. С целью исключения запирания потока для расчётных моделей диаметр тоннеля должен соответствовать значению, при котором $\beta_т$ не превышает 0,2. При диаметре 2,6 м фюзеляжа ультраскоростного юнимобиля, компоновка которого позволяет разместить до четырёх сидений в ряду, описанному условию соответствует тоннель с внутренним диаметром 7 м.

Поскольку ключевой результат работы состоит в определении оптимальных характеристик формы фюзеляжа, требуется провести виртуальные испытания моделей с учётом различий в длине обтекателей (рисунок 9). Её увеличение, несомненно, окажет благоприятное влияние на аэродинамические характеристики, но вместе с тем приведёт к росту габаритных размеров транспортного средства либо (в случае фиксированной длины фюзеляжа) произойдёт уменьшение его центральной части, имеющей максимальный полезный объём.

Результаты расчётов аэродинамичности фюзеляжей в зависимости от их формы и длины представлены на рисунке 10. График демонстрирует, что при движении юнимобиля в тоннеле эффективной с точки зрения аэродинамического сопротивления является уже не *S*-образная форма обтекателя, а пулеобразная. Она обеспечивает более плавный угол атаки пристеночного пространства, в итоге стабилизация потока воздушной среды в зазоре между стенкой тоннеля и корпусом фюзеляжа происходит быстрее и имеет более плавный характер течения.

Длина обтекателей также оказывает существенное влияние на аэродинамические характеристики фюзеляжа. При увеличении длины *S*-образного обтекателя с 5 до 7 м общее аэродинамическое сопротивление снижается на 28 %. При аналогичном изменении пулеобразного обтекателя – лишь на 11 %. Дальнейшее удлинение обтекателей не приводит к улучшениям. Это обусловлено тем, что оно происходит за счёт увеличения общего габаритного размера фюзеляжа. Наблюдается нивелирование аэродинамических характеристик более плавных форм за счёт роста общей площади обтекаемой поверхности. Следовательно, для ультраскоростных тоннельных транспортных систем уместно использовать пулеобразные обтекатели, при этом оптимальное соотношение их длины и диаметра фюзеляжа соответствует значению 2,7.

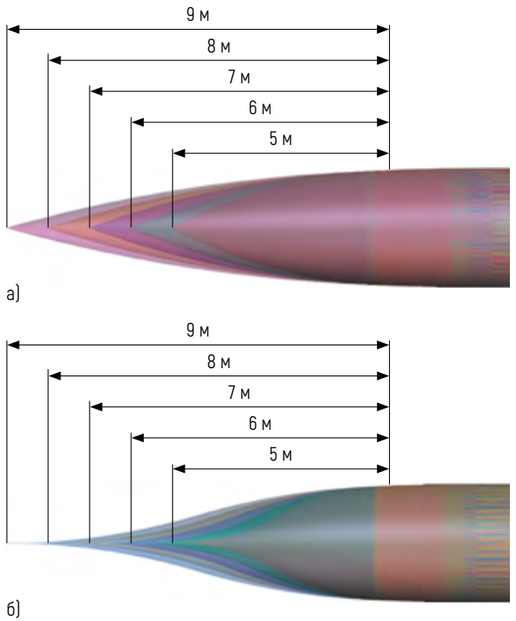


Рисунок 9 – Модели фюзеляжей юнимобилей
с различной длиной обтекателей:
а – пулеобразный; б – *S*-образный

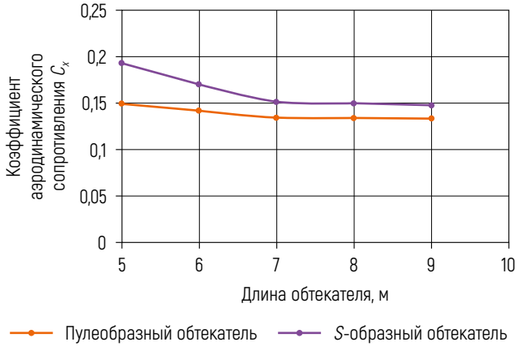


Рисунок 10 – Зависимость коэффициента
аэродинамического сопротивления C_x юнимобиля,
движущегося в тоннеле, от длины и формы обтекателей

Влияние формы центральной части фюзеляжа на аэродинамические характеристики юнимобиля

С точки зрения аэродинамики предпочтительно, чтобы формообразующая линия фюзеляжа представляла собой плавное очертание по всей длине. Любое изменение очертания следует выполнять как можно большим радиусом. Фактически это означает, что центральная часть фюзеляжа транспортного средства будет иметь бочкообразный вид и, соответственно, уникальное миделевое сечение по всей длине фюзеляжа. Однако подобное решение расходится с общепринятыми требованиями технологичности и универсальности в конструировании и производстве. В связи с этим принято решение рассмотреть возможность усечения бочкообразной формы с целью получения цилиндрического участка, характеризующегося достаточной протяжённостью фюзеляжа в центральной части юнимобиля. Такой подход позволит оптимизировать технологичность изготовления фюзеляжа, а также увеличит проходное сечение тоннеля.

Для виртуальных испытаний разработана модель юнимобиля с бочкообразной формой фюзеляжа (рисунок 11). Площадь миделя соответствует площади сечения в центральной части юнимобиля и составляет 5,38 м^2, что эквивалентно кругу диаметром 2,6 м. Усечение бочкообразной части модели привело к созданию новой формы фюзеляжа (рисунок 12) с площадью миделя, равной 5 м^2 в центральной части юнимобиля. Усечение обусловило уменьшение максимального диаметра фюзеляжа на 10 см, а также обеспечило цилиндрическую форму в центральной части салона протяжённостью 5,7 м.

Исходя из длины фюзеляжа юнимобиля, равной 17,6 м, получена цилиндрическая часть, составляющая 32 % его длины. Аэродинамические характеристики двух вариантов форм определялись в тоннеле, внутренний диаметр которого 7 м. Результаты показали ухудшение коэффициента C_x для цилиндрического фюзеляжа на 1,7 %. Вместе с тем лобовая сила сопротивления движению в данном случае сократилась на 5,1 %. Поскольку диаметр тоннеля остался прежним, снижение необходимых мощностей на преодоление аэродинамического сопротивления произошло по причине уменьшения площади миделя юнимобиля на 5,8 %, а также ослабления влияния кольцевого экранного эффекта за счёт роста площади проходного сечения потока. Таким образом, в некоторых случаях для высоко- и ультраскоростных перевозок вовсе не обязательно стремиться к получению формы фюзеляжа максимальной аэродинамичности. Оптимизация площади миделя и увеличение проходного сечения газовой среды позволяют добиться лучших показателей при оценке суммарных энергетических затрат.

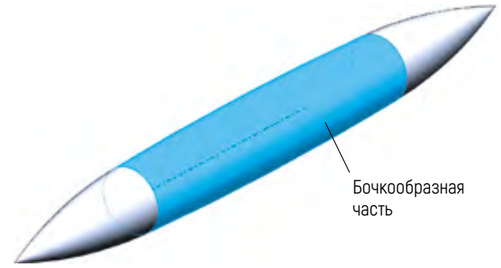


Рисунок 11 – Модель юнимобиля
с бочкообразной формой фюзеляжа



Рисунок 12 – Модель юнимобиля
с цилиндрической формой фюзеляжа

Влияние длины фюзеляжа на аэродинамические характеристики юнимобиля

С точки зрения эффективности массовых пассажирских перевозок на дальние расстояния следует обеспечить максимальную вместимость салона транспортного средства. Традиционно с этой целью инженеры проектируют подвижной состав большой длины.

Оценку необходимости увеличения длины фюзеляжа нужно выполнять исходя из удельной энергоэффективности перевозок, т. е. в пересчёте мощности привода на одного пассажира.

В качестве базового варианта примем фюзеляж длиной 12 м, имеющий бочкообразность в центральной части. Каждый последующий вариант модели отличается от предыдущего

длиной за счёт добавления цилиндрического участка (L) в центральную часть салона (рисунок 13).

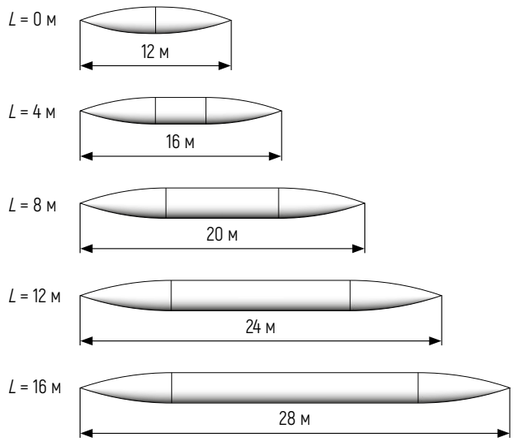


Рисунок 13 – Модели высокоскоростных юнимобилей

Виртуальные испытания проводились методом продувки воздушной среды со скоростью 250 м/с. Соотношение в расчётной модели площади миделя юнимобиля и площади поперечного сечения тоннеля принято равным 0,11 для исключения явления запирания воздушного потока. На основании полученных данных построен график зависимости коэффициента аэродинамического сопротивления C_x от длины фюзеляжа юнимобиля (рисунок 14).

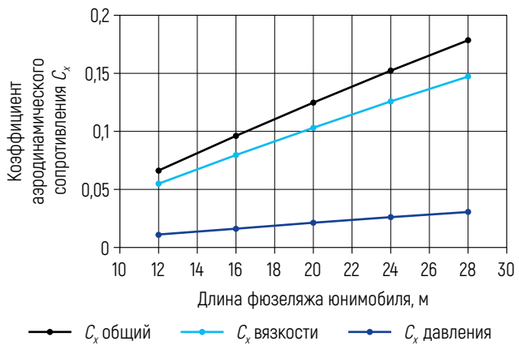
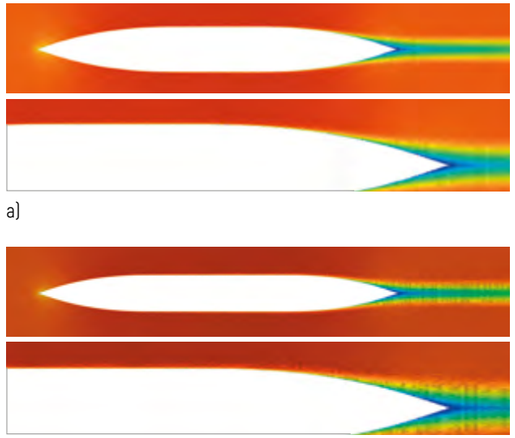


Рисунок 14 – Зависимость результирующего значения коэффициента аэродинамического сопротивления C_x и его составляющих от длины фюзеляжа юнимобиля

Графики, представленные на рисунке 14, имеют линейный вид и тенденцию к росту общего C_x при удлинении фюзеляжа. В этом случае следует рассматривать результирующее значение коэффициента как сумму двух составляющих, одна из которых вызвана лобовым давлением, другая образована вязкостным трением газовой среды о поверхность фюзеляжа. При увеличении центральной цилиндрической части юнимобиля с 4 до 8 м фиксируется усиление турбулентности в пристеночных слоях фюзеляжа (рисунок 15).



а)

б)

Рисунок 15 – Распределение скорости воздушной среды высокоскоростного юнимобиля, имеющего длину цилиндрической части: а – 4 м; б – 8 м

Картины распределения потока воздушной среды наглядно показывают образование турбулентностей в пристеночных слоях более длинного фюзеляжа, что приводит к ухудшению плавности схода воздушного потока. Усиление турбулентности вызывает увеличение результирующего значения C_x, а следовательно, и рост требуемой мощности на преодоление аэродинамического сопротивления. Установлено, что изменение длины фюзеляжа юнимобиля с 16 до 28 м, т. е. в 1,75 раза, обусловливает рост C_x в 1,85 раза. Дополнительное наращивание полезного компоновочного объёма салона юнимобиля позволило изменить количество рядов для сидений с 8 до 23. Как видим, удлинение фюзеляжа юнимобиля привело к ухудшению аэродинамических характеристик

в 1,85 раза при росте пассажировместимости в 2,9 раза, т. е. удельная энергоэффективность подвижного состава улучшилась в 1,57 раза.

Положительный результат в первую очередь достигнут за счёт того, что юнимобиль оснащён обтекателями длиной до 7 м каждый для обеспечения аэродинамически оптимальной формы. Пулеобразный профиль обтекателя имеет плавное заужение по всей длине, что создаёт трудности для комфортного размещения пассажиров в данной части фюзеляжа. По этой причине основной объём обтекателей рационально использовать для установки электротехнического, силового и вспомогательного оборудования. В случае дальнейшего наращивания длины фюзеляжа весь дополнительный объём задействуется исключительно для размещения пассажиров.

Таким образом, выявлено, что удлинение фюзеляжа приводит к линейному росту аэродинамического сопротивления ввиду усиления вязкостного трения воздушного потока о стенки фюзеляжа высокоскоростного юнимобиля. Вместе с тем в итоге происходит повышение энергоэффективности за счёт нелинейного увеличения полезного объёма, подходящего для размещения дополнительных посадочных мест.

Заключение

Авторами проведены исследования по аэродинамической оптимизации высокоскоростного тоннельного юнимобиля. Определено, что колёса, выступающие за контур фюзеляжа, существенно влияют на коэффициент аэродинамического сопротивления. Результаты расчётов показали прямую зависимость C_x от числа колёс на одной оси и величины их выступа за контур фюзеляжа. Для улучшения аэродинамических характеристик требуется использовать не более двух колёс на одной оси и обеспечить их минимальный выступ. Вероятно, установка специальных аэродинамических щитков, имеющих обтекаемую форму, будет способствовать дополнительному снижению значения C_x. Сложность в реализации такого решения может заключаться в необходимости совместного вертикального перемещения колеса со щитком для компенсации работы элементов подвески.

Кроме того, изучены аэродинамические характеристики *S*- и пулеобразных обтекателей в диапазоне длин от 5 до 9 м. В ходе испытаний лучшие результаты при движении в тоннеле показал пулеобразный обтекатель. Оптимальная его длина составляет 7 м, поскольку в этом случае сопротивление воздушной среды будет на 28 % меньше, чем при 5 м. Попытка дальнейшего увеличения обтекателя не выявила явных сравнительных преимуществ.

Анализ предпочтительной формы центральной части фюзеляжа не подтвердил необходимости использования бочкообразного облика. Изменение формы до цилиндрической несколько ухудшает значение C_x, однако уменьшает площадь миделя юнимобиля и увеличивает проходное сечение тоннеля, что в конечном итоге является оптимальным решением.

Удлинение центральной части фюзеляжа существенно влияет на рост аэродинамического сопротивления. Испытания показали, что при этом заметно повышается вязкостное трение воздушной среды за счёт образования пристеночных зон турбулентности. В частности, изменение длины фюзеляжа юнимобиля с 16 до 28 м, т. е. в 1,75 раза, привело к росту C_x в 1,85 раза. Однако ввиду увеличения полезного компоновочного объёма салона юнимобиля его пассажировместимость возросла в 2,9 раза, а удельная энергоэффективность улучшилась в 1,57 раза.

Список основных источников

1. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.*
2. *Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – 240 с.*
3. *Юницкий, А.Э. Описание конструктивных элементов астроинженерной транспортной системы SpaceWay / А.Э. Юницкий // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 41–49.*
4. *Юницкий, А.Э. Водные океанические участки с плавучей эстакадой общепланетарного транспортного средства / А.Э. Юницкий, С.В. Артюшевский // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 12 сент. 2020 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – С. 152–169.*
5. *Optimal Cross-Sectional Area Distribution of a High-Speed Train Nose to Minimize the Tunnel Micro-Pressure Wave /*

Y.C. Ku [et al.] // Structural and Multidisciplinary Optimization. – 2010. – Vol. 42. – P. 965–976.

6. *Kikuchi, K. Optimization of Train Nose Shape for Reducing Micro-Pressure Wave Radiated from Tunnel Exit / K. Kikuchi, M. Iida, T. Fukuda // Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control. – 2011. – Vol. 30, iss. 1. – P. 1–19.*
7. *Yao, S. Three-Dimensional Aerodynamic Optimization Design of High-Speed Train Nose Based on GA-GRNN / S. Yao, D. Guo, G. Yang // Science China. Technological Sciences. – 2012. – Vol. 55. – P. 3118–3130.*
8. *Parametric Design and Optimization of High-Speed Train Nose / S.B. Yao [et al.] // Optimization and Engineering. – 2016. – Vol. 17, iss. 3. – P. 605–630.*
9. *A Modified Multi-Objective Sorting Particle Swarm Optimization and Its Application to the Design of the Nose Shape of a High-Speed Train / S. Yao [et al.] // Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics. – 2015. – Vol. 9, iss. 1. – P. 513–527.*
10. *Effective Nose Shape for Reducing Tunnel Sonic Boom / M. Iida [et al.] // Quarterly Report of RTRI. – 1997. – Vol. 38, iss. 4. – P. 206–211.*
11. *Ogawa, T. Theoretical Algorithm to Design a Train Shape for Alleviating the Booming Noise at a Tunnel Exit / T. Ogawa, K. Fujii // Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers. – 1996. – Vol. 62, iss. 599. – P. 2679–2786.*
12. *Suzuki, M. Countermeasures for Reducing Unsteady Aerodynamic Force Acting on High-Speed Train in Tunnel by Use of Modifications of Train Shapes / M. Suzuki, K. Nakade, A. Ido // Journal of Mechanical Systems for Transportation and Logistics. – 2009. – Vol. 2, iss. 1. – P. 1–12.*
13. *Tyll, J.S. Concurrent Aerodynamic Shape/Cost Design of Magnetic Levitation Vehicles Using Multidisciplinary Design Optimization Techniques [Electronic resource] / J.S. Tyll. – Mode of access: https://clck.ru/3FM2M2. – Date of access: 18.06.2024.*
14. *Suzuki, M. Multi-Objective Design Optimization of High-Speed Train Nose / M. Suzuki, K. Nakade // Journal of Mechanical Systems for Transportation and Logistics. – 2013. – Vol. 6, iss. 1. – P. 54–64.*
15. *Ilyasov, A. Procedure for Preliminary Design of the Chassis of Transport Aircraft / A. Ilyasov, S. Kosbolov // International Journal of Advanced Logistics, Transport and Engineering. – 2022. – Iss. 1-1. – P. 10–16.*
16. *Epakande, C. Simulating the Effects of Active Aerodynamics on the Suspension System of a Formula Student Race Car / C. Epakande, B. Dayawansa, M. Liyanage // SLIIT International Conference on Engineering and Technology, Malabe, 25 Mar. 2023. – Malabe: SLIIT University, 2023. – P. 140–150.*
17. *Юницкий, А.Э. Транспортные системы «второго уровня»: современное состояние и перспективы развития / А.Э. Юницкий, С.В. Артюшевский, Д.И. Бочкарёв // Горная механика и машиностроение. – 2022. – № 4. – С. 39–56.*
18. *Юницкий, А.Э. Гиперскоростной тоннель экваториальной эстакады общепланетарного транспортного средства / А.Э. Юницкий, А.А. Щербич, И.И. Дьяков // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы VI междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 7–8 окт. 2023 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2024. – С. 262–276.*
19. *Оптимизация аэродинамических характеристик высокоскоростного юнимобиля струнного транспорта Юницкого / А.Э. Юницкий [и др.] // Инновационный транспорт. – 2022. – № 3. – С. 3–11.*
20. *Юницкий, А.Э. Оптимизация аэродинамической формы монорельсового подвесного юнибуса / А.Э. Юницкий, С.В. Артюшевский, М.И. Цырлин // Мир транспорта. – 2022. – Т. 20, № 4. – С. 17–26.*
21. *Post Flight Aerodynamic Analysis of the Experimental Vehicle PRORA USV 1 / G.C. Rufolo [et al.] // 15th AIAA International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference, Dayton, 28 Apr. – 1 May 2008. – Reston: AIAA, 2008. – P. 1–21.*



УДК 629.7.017

Комплексный подход к определению показателей надёжности общепланетарного транспортного средства

Д.И. Бочкарёв[1, 2]
кандидат технических наук

Д.Н. Шевченко[1]
кандидат технических наук

[1] ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Беларусь

[2] Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, Беларусь

Рассмотрены вопросы определения надёжности как одной из важнейших характеристик общепланетарного транспортного средства (ОТС), предназначенного для безракетного вывода на околоземные орбиты космических аппаратов, оборудования, материалов и людей, а также компонентов формирующегося космического индустриального ожерелья «Орбита» (КИО «Орбита»).

Показано, что надёжность гигантского общепланетарного геокосмического летательного аппарата длиной более 40 000 км и массой около 40 млн тонн представляет собой комплексное свойство, включающее безотказность, ремонтопригодность, долговечность и сохраняемость.

Предложен комплексный методический подход к выбору, нормированию и оценке следующих показателей безотказности ОТС и КИО «Орбита»: вероятность безотказного функционирования, вероятность отказа, гамма-процентная и средняя наработка до отказа, интенсивность отказов, а также коэффициент оперативной готовности.

Полученные значения и результаты в дальнейшем могут способствовать формированию перечня работ и реализации мероприятий по обеспечению, оценке и контролю надёжности, проводимых на каждом из этапов жизненного цикла ОТС и КИО «Орбита» с целью достижения уровня безотказности не ниже требуемого.

На основании принятых критериев рационального выбора и оптимизации задаваемых параметров надёжности как для ответственных элементов, так и для всего комплекса ОТС и КИО «Орбита» предложена структурная схема надёжности геокосмического самонесущего динамического объекта, направленная на совершенствование конструктивных способов обеспечения данных показателей на этапах проектирования и эксплуатации, включая методы их подтверждения.

Ключевые слова:
безотказность, вероятность, живучесть, космический аппарат, космическое индустриальное ожерелье «Орбита» (КИО «Орбита»), надёжность, наработка, общепланетарное транспортное средство (ОТС), орбита.

UDC 629.7.017

Integrated Approach to Definition of Reliability Indicators of General Planetary Vehicle

D. Bochkaryov[1, 2]
Ph.D. in Engineering Sciences

D. Shevchenko[1]
Ph.D. in Engineering Sciences

[1] Unitsky String Technologies Inc., Minsk, Belarus

[2] Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus

The issues of defining reliability as a key characteristic of the General Planetary Vehicle (GPV) designed for the non-rocket launch of spacecraft, equipment, materials and personnel as well as components of the Industrial Space Necklace "Orbit" (ISN "Orbit") into near space are analyzed.

It is demonstrated that the reliability of the GPV, a massive geocosmic vehicle over 40,000 km in length and approximately 40 mln tons in mass, is a multifaceted property encompassing failure-free performance, maintainability, durability and sustainability.

A comprehensive methodological approach is proposed for selecting, standardizing and evaluating critical failure-free performance indicators of the GPV and ISN "Orbit". These include the probability of failure-free operation, failure probability, gamma-percentage life, mean time to failure, failure rate and operational readiness coefficient.

The obtained values and results contribute to the development of a comprehensive plan for ensuring, evaluating and monitoring reliability at each stage of the GPV and ISN "Orbit" life cycle, with the objective of achieving the required failure-free performance indicators.

Based on established criteria for rational selection and optimization of reliability parameters both for critical components and the overall system, a structural reliability model for the geocosmic self-supporting dynamic object is proposed. This model is designed to enhance structural methods for ensuring reliability during the design and operational phases, including methodologies for these parameters' confirmation.

Keywords:
endurance, failure-free performance, General Planetary Vehicle (GPV), Industrial Space Necklace "Orbit" (ISN "Orbit"), orbit, probability, reliability, spacecraft, survivability.

Введение

В настоящее время ООО «Астроинженерные технологии» (г. Минск, Беларусь) под руководством генерального конструктора А.Э. Юницкого реализует не имеющий аналогов проект общепланетарного транспортного средства (ОТС), которое предназначено для безракетного вывода на околоземную орбиту космических аппаратов (КА), материалов, людей для возведения на ней космического индустриального ожерелья «Орбита» (КИО «Орбита»). Развитием данного проекта являются перенос с Земли в ближний космос промышленных производств, формирование объектов космической жилой и индустриальной инфраструктуры, а также построение базы для освоения дальнего космоса [1].

Современный КА, к которому относится ОТС, представляет собой сложный космический комплекс (КК) вследствие значительного числа входящих в его состав компонентов и систем, объединённых множеством связей различной природы (системы автономной навигации, терморегулирования, энергоснабжения, телеметрических измерений, а также целевая аппаратура и др.). Каждая из систем, в свою очередь, состоит из целого ряда технических средств (приборы, датчики, исполнительные механизмы), имеющих большое количество параметров, режимов работы, воспринимаемых команд. Кроме того, сложность КА заключается в практической невозможности точного расчёта и аналитического описания его поведения в процессе полёта [2]. Следствием такой сложности становятся отказы, вызываемые различными причинами.

Учитывая трудоёмкость и стоимость создания, для космической техники важнейшей характеристикой является надёжность, включающая в себя согласно ГОСТ 27.002-2015 [3] безотказность, ремонтопригодность, долговечность и сохраняемость. Приведённая в настоящей статье модель анализа безотказности КК демонстрирует повышенные требования к функционированию многочисленных компонентов, которые могут быть практически недостижимыми. Именно поэтому среди множества реализуемых функций КК предлагается выделить основные – касающиеся прежде всего жизнеобеспечения экипажей, защиты от разрушения ОТС и связанные с дополнительным свойством живучести [4, 5].

Таким образом, определение показателей надёжности ОТС и КИО «Орбита» рассматривается как комплексная задача, содержащая:

- общий методический подход к выбору, нормированию и оценке показателей надёжности (безотказности) составных частей ОТС и КИО «Орбита», а также данных объектов в целом;
- актуализацию показателей и соответствующих требований надёжности с учётом специфики и целевой функции ОТС и КИО «Орбита» в рамках аналитической структурной схемы.

Полученные значения и результаты в дальнейшем могут способствовать формированию перечня работ и реализации мероприятий по обеспечению, оценке и контролю надёжности, проводимых на каждом из этапов жизненного цикла ОТС и КИО «Орбита» с целью достижения уровня безопасности не ниже требуемого.

Обеспечение живучести космических аппаратов

Для традиционных машин и механизмов, эксплуатируемых на Земле, восстановление работоспособности осуществляется посредством диагностики и ремонта, проводимых профильными специалистами. Ремонт КА, находящегося на орбите, как правило, невозможен (известны лишь уникальные случаи, например с орбитальной космической станцией «Салют-7», которую в 1985 г. вернули в рабочее состояние космонавты В. Джанибеков и В. Савиных, и космическим телескопом Hubble, ремонт которого выполняли экипажи корабля Space Shuttle). То есть для гарантии безотказности следует закладывать соответствующую структурную или функциональную избыточность имеющегося на борту КА оборудования, а также диверсификацию программного обеспечения.

Кроме того, в течение всего срока службы КА необходимо решать задачи установления множества управляющих воздействий, требуемых для поддержания определённой конфигурации бортовых средств для реализации его конкретной функции. При этом для обеспечения живучести обязательной является компенсация отказа единичного устройства без потери качества или функциональности, но с возможной потерей второстепенных функций. В случае диагностики отказа должна происходить реконфигурация аппаратуры с использованием «горячего» или «холодного» резерва либо перевод КА в один из специальных режимов, в которых исключается развитие аварийной ситуации, способное привести к катастрофической потере работоспособности.

Важнейшая роль в живучести КА возлагается на бортовое программное обеспечение, выполняющее функции контроля и диагностики, а при необходимости – управления в нештатных ситуациях.

При поиске алгоритмов контроля и диагностики на основе инженерного анализа бортовой аппаратуры с учётом имеющихся резервов и предшествующего накопленного опыта эксплуатации КА выявляется список критических отказов и формируется оценка их важности, создаются диаграммы состояния и временные циклограммы режимов управления [6, 7]. Известны ситуации, когда работоспособность КА в целом (хотя и с некоторым снижением качества) восстанавливается путём использования того или иного бортового оборудования, предназначенного для решения изначально не запланированных задач. Достижение этого требует пересмотра бортовых алгоритмов и программ, а также загрузки изменённого программного обеспечения [6].

Для данных целей традиционно широко применяется метод командного телеуправления, который реализуется с привлечением наземного комплекса управления (НКУ) для анализа состояния КА, принятия решений о выработке соответствующей совокупности координирующих воздействий и их передачи на борт в реальном времени [8]. В этом случае в течение всего срока активного существования КА с ним непрерывно должен взаимодействовать НКУ, включающий станцию приёма телеметрических данных и выдачи на борт командно-программной информации, а также линии связи станции с центром управления полётом. Кроме того, всегда в состоянии полной готовности должен находиться персонал, отлично владеющий эксплуатационной документацией и способный оперативно и ответственно принимать решения о выдаче команд. Однако при такой схеме организации управления реакция на изменение ситуации на КА происходит не ранее, чем через несколько минут даже при наличии интеллектуальной поддержки процессов принятия решений, в том числе с использованием баз знаний.

Устранение данной проблемы – максимальная степень реализации концепции автономного управления, в которой принятие решений осуществляют бортовые средства управления с оставлением за НКУ только постановки общих задач и целей функционирования и последующего контроля.

Для автоматических (беспилотных) КА, примером которых является ОТС, средства автономного управления приобретают важнейшее значение, обеспечивая работоспособность и выполнение поставленных задач без участия человека. Эффективность автономного управления зависит от полноты и корректности хранящейся на борту информации, необходимой для быстрого реагирования, а также от характеристик механизма принятия решений в условиях ограниченных бортовых вычислительных ресурсов.

Оценка надёжности общепланетарного транспортного средства

В общем виде требования к КА устанавливаются ГОСТ Р 56526-2015 [9], который нормирует показатели надёжности (безотказности) составных частей и оборудования, входящих в КА, и КА в целом, а также регламентирует методический подход к оценке данных показателей.

В то же время анализ эксплуатационной безотказности современных КА свидетельствует о недостаточном уровне надёжности изделий, входящих в их состав [10]. Имеют место отказы и неисправности средств выведения на орбиту, технических средств наземной инфраструктуры, средств НКУ, а также частичные и полные отказы КА по различным признакам в пределах срока активного существования. Подобные отказы сдерживают развёртывание и пополнение орбитальных группировок и негативно влияют на имидж космической техники.

На основании вышеизложенного надёжность КА является их важнейшей эксплуатационно-технической характеристикой и неотъемлемым внутренним свойством, которое конструктивно закладывается на этапах проектирования. Таким образом, результаты анализа надёжности традиционных КА, а также методический подход к определению её показателей должны быть учтены и актуализированы применительно к ОТС.

Современный КА – совокупность ремонтопригодных и неремонтопригодных элементов, призванных обеспечить успешный запуск, эксплуатацию и управление. В период одного цикла, связанного с запуском единичного КА, данные элементы функционируют последовательно согласно циклограмме работы. В отдельные периоды они могут быть ремонтопригодными (например, для средств выведения до наступления периода необратимых операций), в других случаях относятся к неремонтируемым (для лётных этапов).

Проводя аналогию с традиционными КА, с учётом специфики и целевой функции ОТС и КИО «Орбита» представляется рациональным актуализировать показатели и соответствующие требования надёжности посредством классифицирования их на обобщённые, основные и дополнительные [11].

Детальный анализ показателей надёжности, регламентируемых стандартами [3, 9], подтвердил:

- наиболее применимыми интегральными показателями для оценки надёжности ОТС и КИО «Орбита» являются вероятность безотказного функционирования (или вероятность отказа) в течение наработки t и гамма-процентная наработка до отказа;

• средняя наработка на отказ и интенсивность отказов объектов-систем допускают аналитическое определение на основе информации о компонентах системы, но имеют проблемы непосредственной статистической оценки из-за требований к большому числу однотипных объектов и длительному времени наблюдения, в течение которого оценка может стать неактуальной;

• средняя наработка на отказ, а также коэффициент готовности требуют допущения стационарности процесса отказов и восстановления объекта, которое не вполне адекватно в течение реального жизненного цикла КА, в частности ОТС и КИО «Орбита».

На уровне КК постоянного длительного функционирования с орбитальной группировкой из n КА, примером которого является ОТС и формируемое с его помощью вокруг планеты в её экваториальной плоскости КИО «Орбита», обобщённым показателем надёжности может быть вероятность безотказной работы КК $P^{КК}(t)$ [12].

Для перспективных КК с геостационарными КА основные условия по надёжности составных частей предлагается формулировать следующим образом:

• вероятность безотказной работы орбитальной группировки $P^{ОГ}(t)$ (вероятность того, что в течение некоторого времени поддерживается в работоспособном состоянии штатная орбитальная группировка);

• вероятность безотказной работы НКУ $P^{НКУ}(t)$ (вероятность выполнения средствами НКУ технологического цикла управления КА);

• показатель надёжности ОТС $P^{ОТС}_{подг}(t_{подг})$ (вероятность подготовки ОТС к запуску на основании установленных технических готовностей за время, не превышающее нормативного заданного $t_{подг}$);

• показатель надёжности ОТС $P^{ОТС}_{обл}$ (вероятность выведения ОТС в заданную область космического пространства);

• показатель надёжности ОТС $P^{ОТС}_{выв}(t_{выв})$ (вероятность сохранения работоспособности ОТС в процессе выведения);

• показатели надёжности КА (гамма-процентный срок активного существования $T^{АС}_{γ}$ и гамма-процентный срок сохраняемости $T^{хр}_{γ}$).

Показатели надёжности ОТС могут быть заменены одним интегральным – вероятность запуска на опорную орбиту и выведения в заданную область космического пространства.

Структурная схема надёжности такого КК приведена на рисунке [10].

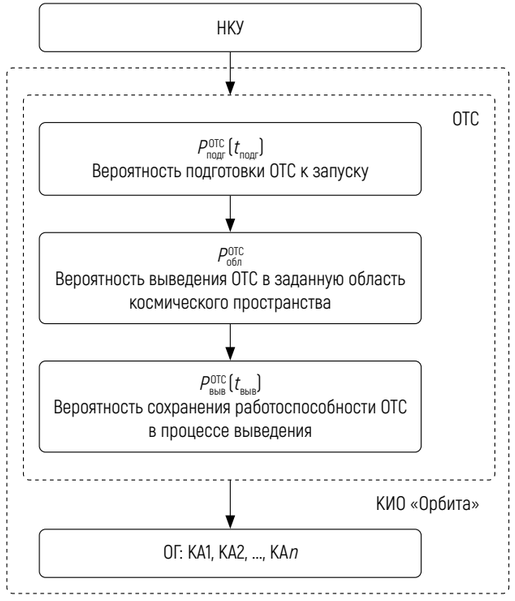


Рисунок – Структурная модель надёжности КК (вероятность успешного запуска и приземления ОТС)

Учитывая заданные показатели надёжности НКУ, КИО «Орбита» и ОТС, реальные периоды функционирования КК, хранение ОТС до запуска, общая вероятность безотказной работы орбитальной группировки принимает вид:

$$P^{ОГ}(t) = P^{ОТС}_{хр}(t_1) \times (P^{ОТС}_{подг}(t_{подг}) \times P^{ОТС}_{выв}(t_{выв}))^n, \quad (1)$$

где $P^{ОТС}_{хр}(t_1)$ – вероятность безотказного хранения ОТС в течение времени t_1 перед подготовкой и запуском.

Показатели надёжности $P^{НКУ}(t)$ и $P^{ОГ}(t)$ связаны между собой выражением:

$$P^{ОГ}(t) = (P^{КА}(t))^n \times P^{НКУ}(t), \quad (2)$$

где $P^{НКУ}(t)$ – вероятность безотказной работы НКУ при функционировании со всеми n КА орбитальной группировки КИО «Орбита»;

$P^{КА}(t)$ – вероятность безотказной работы единичного КА, определяемая как

$$P^{КА}(t) = \sqrt[n]{\frac{P^{ОГ}(t)}{P^{НКУ}(t)}}. \quad (3)$$

Анализ выражений (1) и (2) показывает, что обеспечение высокого уровня вероятности безотказной работы КК (например, 0,99) требует существенно более высоких значений вероятности безотказной работы компонентов КК, практически недостижимых на практике (0,99999). По этой причине среди всех функций, выполняемых КК, целесообразно выделить основные, которые отвечают за жизнь и здоровье экипажей, защиту от экологических катастроф, защиту от разрушения ОТС и других компонентов. Наряду с вероятностью безотказной работы предлагается использовать вероятность обеспечения живучести.

Если по результатам эксплуатации аналогов известно статистическое количественное значение коэффициента готовности $K^{ОГ}_{Г}$, то выражение (3) можно применять для определения корректности задаваемых количественных значений $K^{ОГ}_{Г}$ и $K^{НКУ}_{Г}$ для рассматриваемого КА.

Вероятность безотказной работы ОТС за время хранения:

$$P^{ОТС}_{хр}(t_{хр}) = \exp(-\lambda_{хр} t_{хр}), \quad (4)$$

где $\lambda_{хр}$ – интенсивность отказов ОТС при хранении.

Вероятность подготовки ОТС к запуску на основании установленных технических готовностей за время, не превышающее нормативное заданное $t_{подг}$, определяется выражением:

$$P^{ОТС}_{подг}(t_{подг}) = \exp(-\Delta_{ОТС} t_{подг}) = \exp(-t_{подг} \sum_{i=1}^{k} \lambda_i), \quad (5)$$

где $\Delta_{ОТС}$ – суммарная интенсивность отказов элементов ОТС;

k – количество учитываемых элементов ОТС;

λ_i – интенсивность отказов i-го элемента ОТС на этапе подготовки к запуску.

Вероятность выведения ОТС в заданную область космического пространства $P^{ОТС}_{обл}$ и вероятность сохранения работоспособности ОТС в процессе выведения $P^{ОТС}_{выв}(t_{выв})$ определяются надёжностью элементов ОТС, обеспечивающих его выведение.

Выражения (4) и (5) предполагают экспоненциальный закон распределения времени безотказной работы оцениваемых объектов. При этом интенсивность отказов объектов существенно различается на разных этапах эксплуатации. Особую задачу представляет определение данных для стадий запуска ОТС и его эксплуатации на орбите.

Для элементов КК характерны четыре основных этапа со значительно различающейся интенсивностью отказов (скоростью уменьшения ресурса):

• хранение перед запуском: интенсивность отказов ничтожна;

• эксплуатация перед запуском: интенсивность отказов в десятки раз выше, чем при хранении;

• запуск: интенсивность отказов в 1000 раз выше, чем при хранении;

• эксплуатация на орбите: интенсивность отказов в 100 раз выше, чем при хранении.

Приведённые значения (10, 100, 1000) – экспертные (на основе анализа ГОСТ РВ 20.39.304-98 [13]) и подлежат уточнению по результатам испытаний.

Восстановление полностью развёрнутого КИО «Орбита» из n КА предполагает в случае внезапного полного отказа одного из них запуск другого, поэтому время восстановления работоспособности КИО «Орбита» после развёртывания определяется суммарным временем перерыва в функционировании любого КА, связанным с восстановлением его работоспособности.

Перерывы в функционировании любого КА КИО «Орбита» могут быть двух видов [14]:

• из-за внезапных отказов резервированного оборудования, компенсируемые средствами бортовой автоматики путём внепланового перехода на резервный комплект;

• из-за внезапных отказов оборудования, компенсируемые только с применением средств НКУ.

Плановый переход на резервный комплект аппаратуры служебных бортовых систем или переход на резерв в случае расчётной нештатной ситуации не приводит к перерывам в работе. Таким образом, среднее время восстановления КИО «Орбита» из-за частичных отказов входящих в его состав КА определяется как

$$T^{КИО}_{восст} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\sum_{j=1}^{m} T_{ij})}{nm}, \quad (6)$$

где n – штатное количество КА в орбитальной группировке КИО «Орбита»;

m – количество видов частичных отказов;

T_{ij} – перерыв в работе i-го КА по j-му виду отказа, связанный с частичными отказами и методами их устранения.

Заключение

С учётом необходимости рационального выбора и оптимизации задаваемых эффективных требований и параметров надёжности для элементов ОТС и КИО «Орбита», а также данных объектов в целом в привязке к периодам функционирования [15] возможно определение и формирование

структурной схемы надёжности КК, направленной на совершенствование конструктивных методов обеспечения данных показателей на этапах проектирования и эксплуатации, включая методы их подтверждения.

В связи с отсутствием статистической информации о реальной наработке и отказах ОТС и КИО «Орбита», а также их элементов представленная авторами методика нахождения показателей надёжности может быть использована в математическом моделировании сложных технических объектов, что позволит реализовать их виртуальные испытания с целью проверки адекватности предложенного подхода, определения реальных значений параметров надёжности, а также установления технологических и эксплуатационных факторов, оказывающих наиболее существенное влияние на функционирование составных частей и элементов конструкции.

Список основных источников

1. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.*
2. *Мостовой, Я.А. Лекции по управлению сложными техническими системами: учеб. пособие / Я.А. Мостовой. – Самара: ПГУТИ, 2014. – 192 с.: ил.*
3. *Надёжность в технике. Термины и определения: ГОСТ 27.002-2015. – Взамен ГОСТ 27.002-89; введ. 01.03.2017. – М.: Стандартинформ, 2016. – 28 с.*
4. *Черкесов, Г.Н. Описание подхода к оценке живучести сложных структур при многоразовых воздействиях высокой точности / Г.Н. Черкесов, А.О. Недосекин // Надёжность. – 2016. – № 2 (57). – С. 3–15.*
5. *Черкесов, Г.Н. Методы и модели оценки живучести сложных систем / Г.Н. Черкесов. – М.: Знание, 1987. – 116 с.: ил.*
6. *Методы обеспечения живучести низкоорбитальных автоматических КА зондирования Земли: математические модели, компьютерные технологии / А.Н. Кирилин [и др.]. – М.: Машиностроение, 2010. – 382 с.: ил.*
7. *Системы управления беспилотными космическими и атмосферными летательными аппаратами: тез. докл. науч.-техн. конф., Москва, 25–27 окт. 2010 г. – М.: МОКБ «Марс», 2010. – 362 с.*
8. *Хартов, В.В. Автономное управление космическими аппаратами связи, ретрансляции и навигации / В.В. Хартов // Авиакосмическое приборостроение. – 2006. – № 6. – С. 29–33.*
9. *Требования надёжности и безопасности космических систем, комплексов и автоматических космических аппаратов единичного (мелкосерийного) изготовления с длительными сроками активного существования: ГОСТ Р 56526-2015. – Введ. 01.04.2016. – М.: Стандартинформ, 2016. – 50 с.*
10. *Шангина, Е.А. Оценка надёжности перспективных космических комплексов / Е.А. Шангина, В.Е. Патраев // Исследования наукограда. – 2015. – № 1 (11). – С. 28–31.*
11. *Системы и комплексы космические. Порядок задания требований, оценки и контроля надёжности: ГОСТ РО 1410-001-2009. – Введ. 01.01.2011. – М.: Стандартинформ, 2011. – 64 с.*
12. *Проектирование надёжных спутников связи / под ред. акад. М.Ф. Решетнёва. – Томск: МГП «РАСКО». – 1993. – 221 с.: ил.*
13. *Комплексная система общих технических требований. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Требования стойкости к внешним воздействующим факторам: ГОСТ РВ 20.39.304-98. – Введ. 01.01.1999. – М.: Стандартинформ, 2015. – 58 с.*
14. *Патраев, В.Е. Методы обеспечения и оценки надёжности космических аппаратов с длительным сроком активного существования / В.Е. Патраев. – Красноярск: Изд-во Сиб. гос. аэрокосм. ун-та, 2010. – 136 с.: ил.*
15. *Шангина, Е.А. Оптимизация требований по надёжности к перспективным космическим комплексам экспериментального назначения / Е.А. Шангина, В.Е. Патраев, А.В. Яковлев // Авиакосмическое приборостроение. – 2014. – № 9. – С. 33–37.*



Секция

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ГЕОКОСМИЧЕСКИЕ НАУКИ, ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И РЕСУРСЫ



УДК 620.97+629.7

Применение общепланетарного транспортного средства в качестве элемента единой энергетической системы Земли

А.Э. Юницкий[1, 2]
доктор философии транспорта

В.Н. Гаранин[2]
кандидат технических наук

А.А. Боровик[3]
кандидат технических наук

[1] ООО «Астроинженерные технологии», г. Минск, Беларусь

[2] ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Беларусь

[3] Белорусский государственный экономический университет, г. Минск, Беларусь

Рассмотрена и описана структура традиционных единых энергетических систем, обеспечивающих электрической энергией большинство потребителей на Земле. На основании полученных данных и базовых требований к энергетическим системам и объектам предложена концепция единой энергетической системы, включающей общепланетарное транспортное средство (ОТС), которое может в масштабах планеты выполнять функцию накопления и передачи электрической энергии земным потребителям. Важным условием успешной коммерческой эффективности внешних энергосистем при функционировании ОТС является невысокая стоимость их создания, эксплуатации и утилизации.

Выполнен анализ современных технологий получения на Земле первичной энергии, используемой в том числе для генерирования электрической энергии. С точки зрения базовых требований к энергетическим объектам и системам установлено, что для результативной и устойчивой работы ОТС и энергетической системы Земли необходимо внедрение технологий, минимально воздействующих на экологию планеты. Предложено применять ОТС в качестве мощного и эффективного средства балансировки потоков электрической энергии на Земле, а также для обеспечения межконтинентальных перевозок грузов (на первом этапе создания и эксплуатации).

Ключевые слова:
аккумулятор, Земля, межконтинентальные перевозки, общепланетарное транспортное средство (ОТС), энергетика, энергия, эффективность.

UDC 620.97+629.7

Application of General Planetary Vehicle as Element of Unified Energy System of Earth

A. Unitsky[1, 2]
Dr. of Philosophy in Information Technologies (Transport)

V. Garanin[2]
Ph.D. in Engineering Sciences

A. Baravik[3]
Ph.D. in Engineering Sciences

[1] Astroengineering Technologies LLC, Minsk, Belarus

[2] Unitsky String Technologies Inc., Minsk, Belarus

[3] Belarus State Economic University, Minsk, Belarus

This article examines the structure of traditional unified energy systems that provide electric power to most consumers on Earth. Based on the gathered data and fundamental requirements for energy systems and facilities, the concept of a unified energy system is proposed. This system incorporates the General Planetary Vehicle (GPV) which can serve as a means for the accumulation and transmission of electric energy to consumers on a planetary scale. An important condition for the successful commercial efficiency of external energy systems during the GPV run is the low cost of their creation, operation and disposal.

An analysis of modern technologies used for primary energy production on Earth, including those for generating electricity, is also conducted. In light of fundamental requirements for energy facilities and systems, it is determined that for the efficient and sustainable operation of both the GPV and the Earth's energy system, technologies with minimal ecological impact are essential. The GPV is proposed as a powerful tool for balancing electric energy flow on Earth and as a means for intercontinental cargo transportation (at the initial stage of creation and operation).

Keywords:
accumulator, Earth, efficiency, energy, General Planetary Vehicle (GPV), intercontinental transportation, power industry.

Введение

Общепланетарное транспортное средство (ОТС) после своей реализации станет самым энергоэффективным и надёжным летательным аппаратом для масштабных геокосмических грузопассажирских перевозок по маршруту «Земля – Орбита – Земля» [1]. Как правило, при разгоне и выводе на орбиту ОТС будет затрачивать значительное количество электрической энергии, преимущественно для функционирования линейных электродвигателей [2]. Определённые объёмы электроэнергии потребуются и для компенсации необратимых потерь, которые непременно возникают в процессе работы. Всю эту энергию в случае полной остановки ОТС следует куда-то разместить для дальнейшего использования, что указывает на необходимость поиска соответствующих решений. Так, при возвращении ОТС с орбиты огромное количество полученной им (с Земли или из космоса) кинетической, а возможно, и потенциальной энергии груза можно применить для нужд Земли путём преобразования в электрическую энергию.

Очевидно, что для обеспечения эффективности (прежде всего результирующей энергоэффективности с минимальными безвозвратными потерями энергии на всех этапах её трансформации), безопасности и устойчивости ОТС как энергетического объекта, а также всех остальных энергетических объектов Земли, работающих совместно с ОТС, необходимо выполнение следующих базовых (общепринятых) требований к энергетическим объектам и системам:

- эффективное функционирование и взаимодействие с ОТС и другими потребителями классической внешней энергосистемы Земли, включающей в первую очередь электростанции (внешние генерирующие станции – ВГС) с устройствами трансформирования, защиты и коммутирования, распределения и накопления (внешние аккумулирующие станции – ВАС) электрической энергии, а также с линиями передачи электрической энергии;
- продуктивное взаимодействие ОТС с внешними потребителями (ВП), когда большие объёмы запасённой кинетической и потенциальной энергии ОТС (порядка $1{,}42 \times 10^{18}$ Дж = = 380 ТВт·ч) на этапе его торможения могут преобразовываться в электроэнергию и эффективно (с минимальными необратимыми потерями) отдаваться ВП либо ВАС. Особенно это актуально при проведении плановых ремонтов ОТС или в чрезвычайных ситуациях, когда требуется максимально быстрая остановка ОТС, для чего нужна надёжная быстрая передача огромных объёмов высвобождаемой из ОТС энергии с минимальными потерями;
- устойчивая работа всей совокупности перечисленных элементов (единой энергетической системы – ЕЭС) на длительном временном этапе;
- выполнение требований по экологической и гуманитарной безопасности ЕЭС;
- обеспечение коммерческой эффективности, основанной на низкой стоимости создания, эксплуатации и утилизации отдельных элементов ЕЭС.

Исходя из вышесказанного, ОТС следует рассматривать как важный элемент ЕЭС, который помимо главного предназначения – геокосмического транспортирования – будет обуславливать энергоэффективность и коммерческий успех, а также балансировку и надёжность функционирования не только себя, но и ЕЭС в целом с минимальным воздействием на биосферу Земли.

Структура традиционных единых энергетических систем

За основу будущей архитектуры ЕЭС, включающей ОТС как значимый элемент, взята структура распределения энергии в развитых и развивающихся странах (рисунок 1).

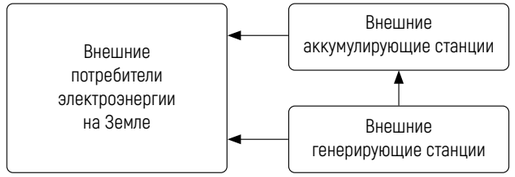


Рисунок 1 – Схема традиционной ЕЭС

Каждый элемент ЕЭС взаимосвязан потоками энергии с другими (внешними для него) элементами.

Внешние потребители

В рассматриваемой структуре ВП включают в себя промышленные предприятия, сельскохозяйственные объекты, коммунальное хозяйство, объекты обслуживания населения, различные учреждения и организации, системы жизнеобеспечения и безопасности, электрический транспорт, общественное освещение, серверы, вышки мобильной связи, бытовые электроприборы и др. При этом ВП являются чистыми потребителями энергии – все энергетические потоки идут от других элементов ЕЭС к ВП.

Внешние генерирующие станции

ВГС являются чистыми донорами энергии для всех остальных элементов ЕЭС; представляют собой совокупность различных типов электростанций, в качестве первичной энергии в которых может использоваться тепловая энергия сгорания органического сырья (каменный уголь, природный газ, нефтепродукты, торф и др.), энергия падающей воды в гидроэлектростанциях (ГЭС) или морских приливов в приливных электростанциях (ПЭС), атомная энергия деления ядер радиоактивных элементов в атомных электростанциях (АЭС), энергия ветра в ветряных электростанциях (ВЭС) или падающего солнечного излучения в солнечных электростанциях (СЭС), энергия колебания морских волн или геотермальная энергия.

На сегодняшний день в мире вырабатывается около 30 000 ТВт·ч электрической энергии [3]. Процентное распределение первичных источников, необходимых для производства энергии на Земле, показано на рисунке 2.

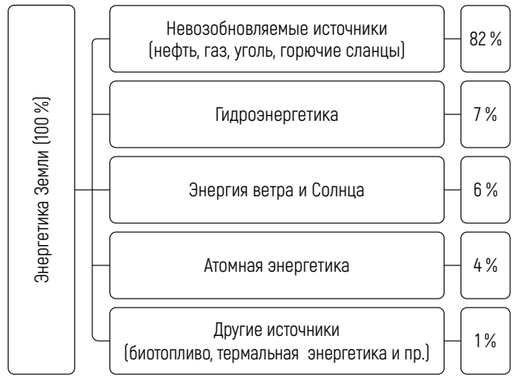


Рисунок 2 – Источники получения первичной энергии на Земле

ВГС, использующие в качестве первичных энергоносителей невозобновляемое ископаемое топливо (газ, уголь, нефтепродукты, торф, горючие сланцы и др.), не удовлетворяют базовым требованиям (экологичность, длительность применения). Так, по оценкам многих специалистов, разведанных и перспективных запасов нефти человечеству хватит не более чем на 70 лет. Причём по мере истощения ископаемого органического топлива в недрах Земли (а это наступит уже в среднесрочной перспективе) цена на него будет быстро возрастать, что связано в первую очередь с резким увеличением себестоимости добычи. Кроме того, органическое топливо при существующих технологиях его сжигания является экологически грязным, так как в атмосферу выбрасывается большое количество веществ, оказывающих негативное влияние на биосферу Земли. Установка различных очистных и улавливающих вредные выбросы устройств весьма затратна. Изыскание возможности эффективной выработки и применения энергии ВП (в том числе и ОТС) – актуальная задача не только в рамках данного исследования.

Внешние аккумулирующие станции

ВАС – это система аккумулирующих станций разных типов. Такие станции в зависимости от потребностей других элементов ЕЭС (прежде всего ВП и ВГС) функционируют в двух режимах: накопления и выдачи энергии. Наличие ВАС обусловлено тем, что ВГС в определённые периоды не могут полностью обеспечить потребности ВП: именно тогда ВАС и отдают ранее накопленную энергию ВП. В другие моменты энергия, вырабатываемая ВГС, окажется лишней – её и направляют в ВАС для аккумулирования с целью последующего использования. При этом ВАС взаимодействуют с ВП, потребление энергии которыми может быть сильно неравномерным по разным причинам (например, ночью оно значительно меньше, чем днём; в холодное время электрической энергии на обогрев требуется больше, чем в тёплое; в жару кондиционеры расходуют существенные объёмы электрической энергии). Таким образом, ВАС являются важным балансирующим элементом ЕЭС, обеспечивая устойчивость её работы и сводя потери лишней энергии к минимуму. Физические принципы, на которых функционируют ВАС, различны.

В качестве ВАС большой мощности в основном применяются гидроаккумулирующие станции, в режиме накопления которых внешняя лишняя электрическая энергия используется насосами для закачки воды в огромные ёмкости, например плотины (верхний бассейн). В режиме генерации собранная в плотинах вода стекает вниз (нижний бассейн) и передаёт энергию гидротурбине, на валу которой установлен генератор, вырабатывающий электрическую энергию. В качестве гидроаккумулирующих и одновременно гидрогенерирующих станций успешно используют ГЭС, в которых в зависимости от спроса на электроэнергию накопление или отдачу энергии можно очень просто регулировать уровнем воды в плотине путём поднятия или опускания задвижек на коллекторах, питающих гидротурбины. При накоплении относительно небольших объёмов энергии применяются аккумуляторные батареи, действующие на электрохимических принципах.

В последнее время развитие получили ВАС, основанные на механических принципах. При этом в режиме аккумулирования лишняя энергия (в виде электрической) направляется на подъём твёрдых массивных тел на значительную высоту. В режиме генерации накопленная потенциальная энергия тел при их спуске преобразуется в электрическую. В некоторых случаях предлагается лишнюю электрическую энергию преобразовывать во вращательную энергию массивного маховика с большим моментом инерции.

Анализ преимуществ и недостатков применения разных типов первичной энергии на Земле

ГЭС и ПЭС используют возобновляемую энергию падающей воды. Кроме того, они считаются экологически безопасными, поскольку при их работе не выбрасываются вредные вещества, хотя нередко происходит затопление больших территорий при строительстве плотин ГЭС. Однако гидроэнергия Земли в существенной степени уже задействована, причём в районах размещения ОТС она весьма ограничена по причине незначительного количества рек и их малой мощности, а также небольшой силы морских приливов в области экватора Земли.

Относительно геотермальной энергии, в том числе энергии морских волн и течений, следует отметить, что запасы и перспективы их использования также ограничены [4, 5] и не могут рассматриваться как основа энергообеспечения ОТС по причине непредсказуемого их влияния на морскую и прибрежную среду [6].

Применение ВГС на базе возобновляемого биотоплива (растительное сырьё, например древесина, рапс, сахарный тростник и др.) требует огромных сельскохозяйственных территорий и на сегодняшний день экономически затратно [7].

ВГС, использующие энергию ветра и солнечного излучения, являются экологически чистыми, хотя производство материалов для ВЭС и СЭС, а затем их утилизация связаны с вредными для биосферы процессами и потреблением большого количества энергии [8]. Серьёзные недостатки ВЭС и СЭС – высокая себестоимость единицы вырабатываемой ими электроэнергии, огромная ресурсоёмкость, задействование значительных территорий и акваторий в силу малых объёмных плотностей энергии ветра и Солнца в пространстве.

Вместе с тем у современной солнечной и ветряной генерации низкие показатели общего КПД и коэффициента преобразования энергии в электрическую [9]. Для ВЭС существует узкий диапазон оптимальных скоростей ветра (10–20 м/с). Кроме того, чем выше температура окружающей среды, тем ниже для СЭС коэффициент преобразования энергии солнечного излучения в электрическую. Имеют место частые выходы из строя ВЭС и СЭС под влиянием окружающей среды (град и песчаные бури разбивают солнечные панели; ураганы, морозы, а также столкновения птиц с лопастями становятся причиной гибели пернатых (один ветряк способен за срок службы убить тысячи особей) и поломки ветряков; др.).

Срок службы СЭС и ВЭС намного меньше, чем традиционной электростанции, они требуют частых и затратных ремонтов и техобслуживания. ВЭС создают сильную вибрацию в большом объёме воздуха, поэтому часть территорий задействуется под санитарные зоны в районе размещения ВЭС. Установка СЭС приводит к затенению поверхности Земли и резкому локальному изменению экосистем. Работа ветряков нарушает миграцию птиц, а морских ВЭС – миграцию рыб и морских животных. Не стоит забывать и о проблемах утилизации отслуживших панелей СЭС и лопастей оборудования ВЭС [9].

Самый главный недостаток – неустойчивость генерации. Когда ветер дует несильно или часто изменяет направление, ВЭС утрачивают свою эффективность. Если слабо светит солнце (облачность, туман, смог, осадки) или произошло значительное оседание пыли на панелях (их нужно периодически мыть или чистить), СЭС не обеспечивают максимальную генерацию. В данных случаях без традиционной энергетики не обойтись.

Этим объясняется и низкий коэффициент использования установленной мощности СЭС и ВЭС. Функционирование в режиме неустойчивой генерации приводит к сильному износу не только ВЭС и СЭС, но и традиционных источников электроэнергии, существенно снижается и общий КПД энергосистемы. Кроме того, возникают огромные проблемы в передаче лишней электроэнергии, выработанной СЭС и ВЭС в некоторые моменты слабого потребления ВП. Следовательно, появляется необходимость развёртывания дополнительных мощных и дорогостоящих линий электропередач между всеми регионами размещения СЭС, ВЭС и ВП, а также накопителей электроэнергии.

Теоретически обосновано и практически подтверждено, что чем больше доля СЭС и ВЭС в общей генерации электричества, тем дороже электрическая энергия [10]. Фактически, бурный рост генерации энергии с задействованием ВЭС и СЭС обусловлен серьёзными дотациями, прежде всего за счёт традиционной энергетики.

Хорошей альтернативой видится (кроме использования угля, сланцев и торфа) применение ядерной энергетики (АЭС) на быстрых нейтронах, позволяющей эффективно обеспечить энергией ОТС на многие сотни лет вперёд [11]. Включение таких АЭС в цикл ЕЭС является перспективным направлением исследований.

Предлагаемая структура единой энергетической системы, включающей ОТС

Структура ЕЭС, включающей ОТС как значимый объект, очевидно, должна базироваться на схеме, представленной на рисунке 1. Однако добавление в неё ОТС вносит важные коррективы (рисунок 3).

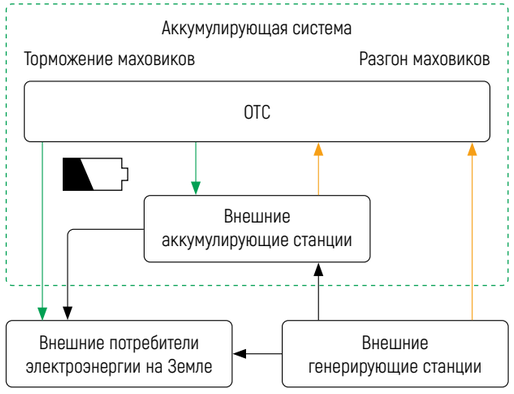


Рисунок 3 – Схема ЕЭС, включающей ОТС как значимый элемент

ОТС в режиме разгона маховиков будет потреблять и аккумулировать существенное количество электрической энергии от ВГС и ВАС (рисунок 3, жёлтые стрелки). ОТС также будет выступать в роли потребителя электроэнергии (как наилучшая на сегодняшний день форма её использования и передачи) в режиме компенсации необратимых потерь энергии при повторном подъёме на орбиту без остановки маховиков.

При торможении маховиков (при необходимости) от ОТС можно получить большой объём лишней энергии (до 400 ТВт·ч). Такая энергия будет направляться ВАС и ВП (рисунок 3, зелёные стрелки) для накопления и потребления соответственно.

Исходя из этого, сделан важный вывод: работа ОТС с энергетической точки зрения во многом похожа на работу ВАС. Соответственно, ОТС также может стать важным балансирующим элементом ЕЭС.

Нужно отметить, что КПД большинства применяемых ВАС незначительный. Например, у современных гидроаккумулирующих станций он суммарно (закачка и генерация) не превышает 40 % [12]. Это обусловлено тем, что при закачке воды из нижнего бассейна в верхний в режиме аккумулирования необратимо теряется до 40 % энергии (КПД 60 %); при движении воды обратно из верхнего бассейна в нижний в режиме генерации теряется также до 40 % (КПД 60 %) оставшейся энергии. Вместе с тем потери энергии у ОТС [13], работающего в аккумулирующем режиме, меньше, чем у современных ВАС, что обусловлено вращением роторов в вакууме и, как следствие, несущественными потерями на трение. Именно поэтому функционирование ОТС в связке не только с ВГС и ВАС, но и с ВП представляется перспективным с точки зрения рациональной передачи и использования энергии (особенно при необходимости полной остановки маховиков).

Таким образом, для некоторых стран, находящихся в зоне ОТС, имеется возможность получить энергию независимо от наличия линий электропередач до ВГС (рисунок 4).

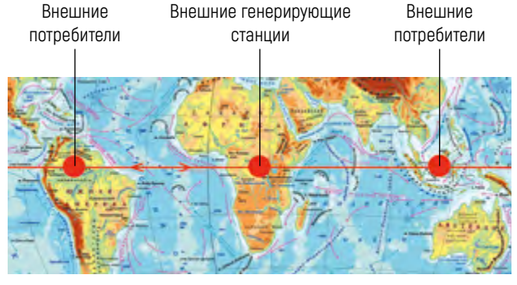


Рисунок 4 – Пример использования ОТС в качестве межконтинентального передатчика энергии

Поскольку ОТС может накопить до 380 ТВт·ч энергии, или до 1,3 % всей электрической энергии, производимой на Земле за год (28 000 ТВт·ч за 2023 г.), то оно будет выступать важным балансирующим элементом потоков вырабатываемой и потребляемой электрической энергии экваториальной и в значительной мере тропической зон Земли.

Придерживаясь данного подхода, ОТС при соответствующей оптимизации можно задействовать и для транспортирования грузов на поверхности Земли (рисунок 5).

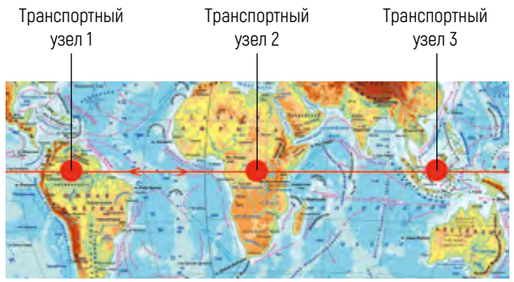


Рисунок 5 – Межконтинентальные перевозки грузов посредством ОТС

Таким образом, для обеспечения коммерческой эффективности предлагается рассматривать ОТС как межконтинентальное транспортное средство, расположенное вдоль экватора Земли. В частности, на первом этапе строительства и запуска ОТС авторам видится целесообразным (совместно с использованием эстакады согласно [14]) его применение в качестве транспортного средства, связывающего континенты и острова, находящиеся вблизи экватора (не только за счёт эстакады ОТС, предназначенной для движения традиционных и рельсо-струнных транспортных средств). Это, несомненно, ускорит процесс обмена товарами между странами (по сравнению с морским транспортом) и послужит стимулом строительства ОТС как космического транспортного средства (с отработкой технологии эксплуатации всей конструкции ОТС на Земле), что может стать темой дальнейших исследований в данном направлении.

Заключение

Для обеспечения эффективности (прежде всего результирующей энергоэффективности с минимальными безвозвратными потерями энергии на всех этапах её трансформации), безопасности и устойчивости ОТС в качестве энергетического объекта Земли необходимо выполнение следующих базовых требований:

- эффективное функционирование и взаимодействие с ОТС и другими потребителями классической внешней энергосистемы;
- продуктивное взаимодействие ОТС с внешними потребителями энергии на Земле;
- устойчивая работа всех элементов ЕЭС на длительном временном этапе (как в режиме запуска и эксплуатации, так и в режиме торможения до полной остановки ОТС);
- экологическая и гуманитарная безопасность ЕЭС;
- обеспечение коммерческой эффективности ЕЭС.

Таким образом, ОТС – важный элемент ЕЭС; его можно использовать не только как космическое и межконтинентальное транспортное средство, но и как огромный аккумулятор кинетической и потенциальной энергии с высоким КПД (до 97 %). ОТС способно составить достойную конкуренцию морским перевозкам, аккумулирующим станциям большой ёмкости, а также ракетному космическому транспорту.

Список основных источников

1. *Плахов, Д.А. Анатолий Юницкий: будущее – за общепланетарным транспортным средством / Д.А. Плахов, Н.В. Время // Воздушно-космическая сфера. – 2020. – № 4 (105). – С. 28–41.*
2. *Юницкий, А.Э. Создание математической модели общепланетарного транспортного средства: разгон маховиков, прохождение атмосферы, выход на орбиту / А.Э. Юницкий, Р.А. Шаршов, А.А. Абакумов // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019.– С. 77–83.*
3. *Мировая энергетика: текущее состояние, проблемы и перспективы отрасли [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://energoseti.ru/articles/mirovaya-energetika-tekushchee-sostoyanie-problemy-i-perspektivy-otrasli. – Дата доступа: 25.05.2024.*
4. *Разумова, Ю.К. Энергия течений океана / Ю.К. Разумова // Образование, наука, производство: материалы VIII междунар. молодёж. форума, Белгород, 15–16 окт. 2016 г. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2016. – С. 2000–2004.*
5. *Приливные электростанции и водородная энергетика / И.Н. Усачёв [и др.] // Энергия: экономика, техника, экология. – 2010. – № 6. – С. 10–17.*
6. *Чайкина, К.А. Перспективы применения приливных электрических станций в России / К.А. Чайкина, М.У. Абдуллаев, Д.В. Потес // Инновационное развитие современной науки: сб. науч. тр. по материалам XXXI междунар. науч.-практ. конф., Анапа, 11 янв. 2021 г. – Анапа: Изд-во «НИЦ ЭСП» в ЮФО, 2021. – С. 39–41.*
7. *Дрюпин, П.В. Состояние и перспективы производства биотоплива в России / П.В. Дрюпин, Л.С. Керученко, В.В. Мяло // Вестник КрасГАУ. – 2011. – № 3. – С. 134–136.*
8. *Вадейко, В.С. Проблема утилизации оборудования альтернативной энергетики / В.С. Вадейко, В.Н. Коршун // Электроэнергетика и электротехника: материалы 79-й науч.-техн. конф. студентов и аспирантов «Актуальные проблемы энергетики», апр. 2023 г. – Минск: БНТУ, 2023. – С. 186–188.*
9. *В Европе заявили о скорой победе над атомной энергетикой и переходе на солнечную энергию к 2042 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://overclockers.ru/blog/cool-gadgets/show/159095/V-Evrope-zayavili-o-skoroj-pobede-nad-atomnoj-energetikoj-i-hotyat-k-2042-perejti-na-solnechnuju-energiju. – Дата доступа: 25.05.2024.*
10. *Саликеева, С.Н. Обзор методов получения альтернативной энергии / С.Н. Саликеева, Ф.Т. Галеева // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15, № 8. – С. 57–59.*
11. *Информирование населения как инструмент развития атомной отрасли / Н.В. Горин [и др.] // Государственное управление. Электронный вестник. – 2021. – № 85. – С. 6–24.*
12. *Карпушонок, К.А. Гидроаккумулирующая электростанция / К.А. Карпушонок // Актуальные проблемы энергетики 2020: материалы студенч. науч.-техн. конф. / сост. И.Н. Прокопеня. – Минск: БНТУ, 2020. – С. 99–100.*
13. *Юницкий, А.Э. Особенности функционирования маховичного движителя общепланетарного транспортного средства и общие требования к нему / А.Э. Юницкий, А.В. Бабаян // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 12 сент. 2020 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – С. 194–205.*
14. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.*



УДК 621.039+629.7

Применение технологий замкнутого ядерного топливного цикла для функционирования общепланетарного транспортного средства

А.Э. Юницкий[1,2]
доктор философии транспорта

В.Н. Гаранин[2]
кандидат технических наук

А.А. Боровик[3]
кандидат технических наук

[1] ООО «Астроинженерные технологии», г. Минск, Беларусь

[2] ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Беларусь

[3] Белорусский государственный экономический университет, г. Минск, Беларусь

Обосновано, что использование в электроэнергетике технологии замкнутого ядерного топливного цикла (ЗЯТЦ) с применением реакторов на быстрых нейтронах способствует длительному и устойчивому функционированию общепланетарного транспортного средства (ОТС) без существенной нагрузки на экосистему Земли. Описана технология ЗЯТЦ, оценены современные запасы энергии в уране-238, в том числе в отходах ядерной энергетики. Проанализировано количество запусков ОТС исходя из имеющихся ресурсов ядерного топлива на Земле. Установлено, что ядерная энергетика на основе ЗЯТЦ с задействованием только урана-238 в зависимости от общего энергетического КПД ОТС обеспечит около 100 000 полных стартов ОТС или более 2 млн раз компенсирует необратимые потери энергии при работе ОТС. Кроме того, ОТС позволит передать внешним потребителям и/или внешним аккумулирующим станциям электрическую энергию объёмом 1,4 × 10^{18} Дж, запасённую в результате одного запуска и последующей посадки. Предложено использовать ОТС не только в качестве геокосмического транспортного средства, но и как кинетический аккумулятор энергии большой ёмкости и балансирующий элемент единой энергетической системы Земли с высоким КПД.

Ключевые слова:
быстрые нейтроны, запас энергии, количество запусков ОТС, общепланетарное транспортное средство (ОТС), уран, утилизация, ядерные отходы, ядерный цикл.

UDC 621.039+629.7

Application of Closed Nuclear Fuel Cycle Technology for Operation of General Planetary Vehicle

A. Unitsky[1,2]
Dr. of Philosophy in Information Technologies (Transport)

V. Garanin[2]
Ph.D. in Engineering Sciences

A. Baravik[3]
Ph.D. in Engineering Sciences

[1] Astroengineering Technologies LLC, Minsk, Belarus

[2] Unitsky String Technologies Inc., Minsk, Belarus

[3] Belarus State Economic University, Minsk, Belarus

This article substantiates the use of closed nuclear fuel cycle (CNFC) technology with fast neutron reactors in the electric power industry as a means to support the long-term, sustainable operation of the General Planetary Vehicle (GPV) with minimal impact on the Earth's ecosystem. The CNFC technology is explained, and current uranium-238 energy reserves, including nuclear waste, are assessed. The number of GPV launches possible with Earth's nuclear fuel resources is analyzed. The authors determined that nuclear power using CNFC and uranium-238 depending on the GPV overall energy efficiency alone could enable around 100,000 full GPV launches or over 2 mln times would compensate energy loss during GPV operations. Additionally, each GPV launch and subsequent landing could transfer 1.4 × 10^{18} J of electrical energy to external consumers or storage stations. The GPV is proposed not only as a geocosmic vehicle but also as a large-capacity kinetic energy storage unit and an efficient balancing element in the unified energy system of Earth.

Keywords:
disposal, energy reserve, General Planetary Vehicle (GPV), fast neutrons, nuclear cycle, nuclear waste, number of GPV launches, uranium.

Введение

Согласно выполненным расчётам [1] общепланетарное транспортное средство (ОТС) – весьма энергоёмкий объект в энергосистеме Земли. Потребление энергии невозобновляемых источников для его функционирования будет вести к существенной экологической нагрузке на нашу планету, а значит, такой подход невозможен в исторической перспективе.

Для длительной, устойчивой и эффективной работы ОТС без сильного влияния на экосистему Земли предлагается задействовать технологию ядерной энергетики, основанную на так называемом замкнутом ядерном топливном цикле (ЗЯТЦ). Данная технология предполагает применение реакторов на быстрых нейтронах [2] и существенно отличается от технологии деления тяжёлых ядер урана-235 на медленных нейтронах, внедрённой в подавляющем большинстве современных АЭС.

Использование урана-238 как первичного энергоносителя уже реализовано на опытно-промышленном уровне госкорпорацией «Росатом» в действующих реакторах на быстрых нейтронах (например, на Белоярской АЭС долгое время безаварийно функционирует промышленный реактор на быстрых нейтронах БН-800). Кроме того, ведётся строительство промышленно-исследовательского реактора на быстрых нейтронах для ЗЯТЦ БН-1200 на Белоярской АЭС с целью комплексного изучения на длительном временном интервале всех технических, технологических, экологических и экономических показателей ЗЯТЦ. В г. Северске (Россия) возводится исследовательский реактор БРЕСТ (быстрый реактор естественной безопасности со свинцовым теплоносителем) [3]. В г. Димитровграде (Россия) в 2028 г. планируется запустить многоцелевой исследовательский реактор на быстрых нейтронах (натриевый) – МБИР, на котором будут проводить комплексный анализ технологических решений, изучать поведение различных материалов в интенсивных потоках быстрых нейтронов, а также осваивать технологии получения ценных радиоизотопов.

Подобные разработки осуществляются в Китае и Индии. В то же время в странах Запада, сделавших ставку на «зелёную» энергетику, такие исследования практически отсутствуют.

В связи с вышесказанным встаёт вопрос о необходимости оценки запасов ядерного топлива для функционирования в том числе и ОТС как объекта высокой энергетической мощности.

Описание технологии ЗЯТЦ в ядерной энергетике

Предполагается, что создание внешних генерирующих станций (ВГС), использующих в качестве первичного энергоносителя природный уран-238 с большими разведанными запасами на Земле, обусловит выполнение базовых требований, благодаря которым будет обеспечено эффективное функционирование ОТС и энергетической системы Земли.

Суть применения урана-238 как ядерного источника первичной энергии с организацией ЗЯТЦ заключается в следующем. В реактор на быстрых нейтронах изначально загружается топливная сборка тепловыделяющих элементов из смеси плутония-239 (возможный вариант – уран-235) и урана-238. Плутоний-239 делится под действием интенсивного потока быстрых нейтронов, при этом образуются два осколка деления (осколок 1 и осколок 2) с основным количеством кинетической энергии и два-три быстрых нейтрона на каждое делящееся ядро (рисунок 1, левая часть). Далее происходит захват некоторых нейтронов другими (не вступившими в реакцию) ядрами плутония-239 и их деление – протекает самоподдерживающаяся регулируемая цепная ядерная реакция. Осколки деления радиоактивны: при их распадах выделяется большое количество энергии в виде альфа-, бета-частиц, различного электромагнитного излучения – от гамма-лучей до радиоволн. В конечном итоге вся выделенная энергия превращается в тепло и идёт в том числе на выработку электричества.

Осколки деления (рисунок 1) могут быть разными, но меньшими по массовому и зарядовому числу, чем ядро плутония-239. Конкретный вид осколков деления определяется статистическими закономерностями.

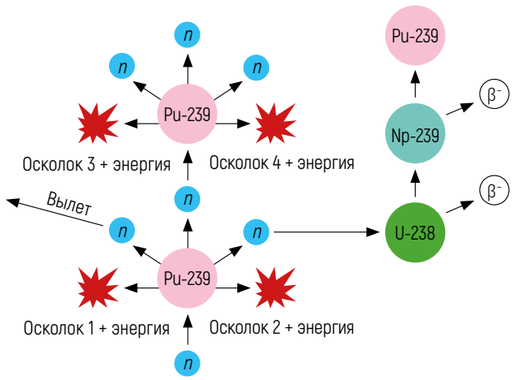


Рисунок 1 – Совокупность ядерных реакций на быстрых нейтронах

Данная реакция с энергетической и функциональной позиций похожа на реакцию деления урана-235, протекающую под действием медленных нейтронов в реакторах большинства современных АЭС (рисунок 2). В ходе такой реакции при поглощении замедленного нейтрона ядром урана-235 возможно образование, например, двух радиоактивных осколков: ядра бария-141 и криптона-92 с большими кинетическими энергиями, а также трёх быстрых нейтронов.

Уран-238, которого в сборке не менее 80 %, слабо делится под действием быстрых нейтронов, но хорошо их захватывает (рисунок 1, правая часть; более подробно – рисунок 3).

При захвате быстрого нейтрона протекает ядерная реакция β-распада с получением изотопа нептуния-239:

$$U_{92}^{238} + n_0^1 \longrightarrow Np_{93}^{239} + e_{-1}^0,$$

а затем быстро происходит реакция β-распада ядра нептуния-239 с образованием ядра плутония-239:

$$Np_{93}^{239} \longrightarrow Pu_{94}^{239} + e_{-1}^0.$$

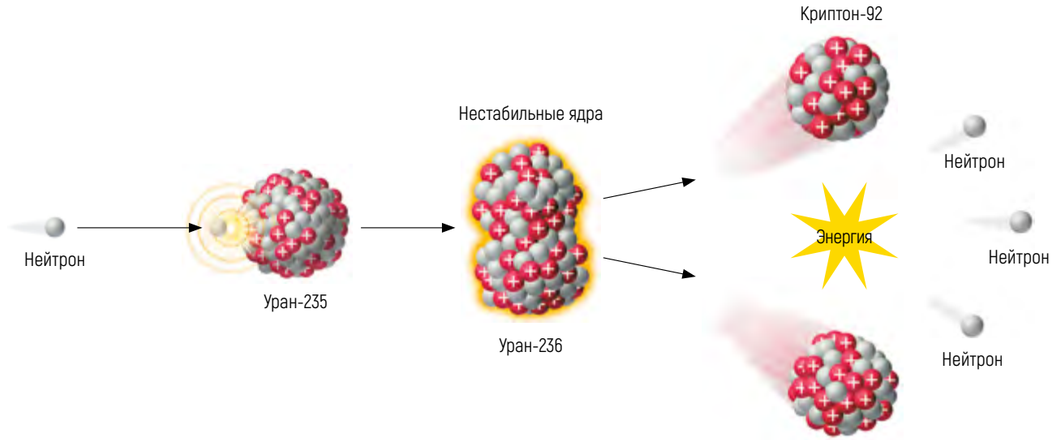


Рисунок 2 – Ядерная реакция на медленных нейтронах

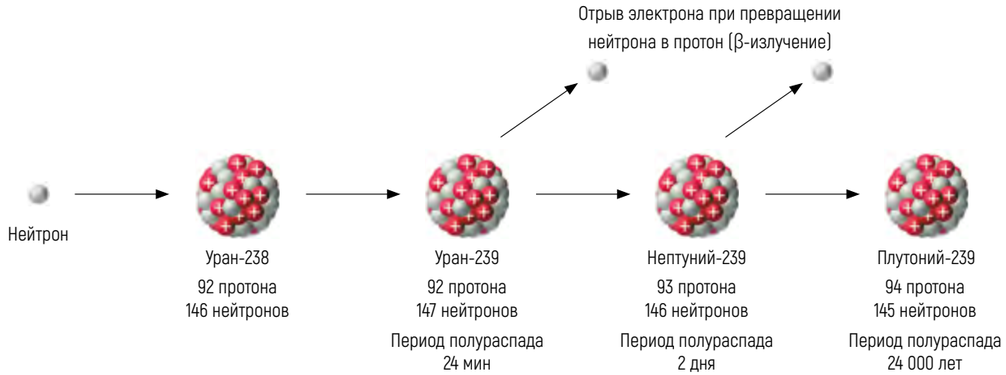


Рисунок 3 – Ядерные реакции на быстрых нейтронах с наработкой энергетического плутония-239

Суммарный энергетический выход этих двух реакций относительно невелик (по сравнению с реакцией, изображённой в левой части рисунка 1). Однако в конце цикла функционирования реактора на быстрых нейтронах в топливных сборках из урана-238 образуется много энергетического плутония-239 (рисунок 1, правая часть), причём его количество может быть даже немного больше, чем изначально загруженного. После остановки реактора, его разгрузки и выдержки в бассейне (распадаются короткоживущие изотопы) произведённый плутоний-239 и оставшийся уран-238 отделяются достаточно простыми химическими методами от полученного после цикла работы реактора облучённого ядерного топлива (ОЯТ). Из урана-238 и плутония-239 изготавливаются новые топливные сборки (плутоний-239 + + уран-238) для последующего использования в этих же быстрых реакторах. Реакторы на быстрых нейтронах, комплексы по выдержке и разделению ОЯТ, цех изготовления топливных сборок предполагается размещать в одном месте (рисунок 4). Такой подход снизит логистические затраты, повысит общую безопасность и позволит организовать ЗЯТЦ.

По мере расходования слаборадиоактивного урана-238 можно обеспечить его подвоз в зону описанного ЗЯТЦ.

Важным является и то, что использование ЗЯТЦ способствует полной утилизации радиоактивных отходов с получением ценных радиоизотопов, которые находят широкое применение в различных технологиях (например, в медицине, экспериментальной физике, создании ядерных батареек). Кроме того, радиоактивные отходы будут составлять не более 5 % от исходного ядерного топлива, что практически избавит от необходимости их захоронения, а значит, повысит радиационную безопасность и существенно снизит общие расходы. Технология ЗЯТЦ позволит перерабатывать в реакторах на быстрых нейтронах и уже накопленные в могильниках опасные радиоактивные отходы (путём их распадов до нерадиоактивных элементов с выделением и использованием энергии), повышая радиационную безопасность Земли.

Следует также отметить дополнительную возможность задействования тепла, получаемого в бассейнах выдержки выгружаемого топлива. Поскольку при распаде короткоживущих изотопов в ОЯТ выделяется много теплоты, её целесообразно направить на отопление различных зданий и сооружений (теплицы, дома), что делает перспективной данную технологию, особенно в регионах с холодным климатом. Кроме того, необходимо подчеркнуть, что реализация ЗЯТЦ в отличие от тепловой генерации практически не сопровождается выбросом в окружающую среду химически вредных веществ.



Рисунок 4 – Схема ЗЯТЦ

Оценка запасов энергии урана-238, в том числе в отходах ядерной энергетики

Разведанные доказанные запасы урана-238 (в месторождениях в виде твёрдых сыпучих оксидов, силикатов, фосфатов и сложных соединений с ванадием) составляют от 5 до 11 млн тонн в пересчёте на чистый уран [4]. В то же время, по оценкам специалистов, всего изотопов урана-238 на Земле гораздо больше [5]. Однако поскольку львиная его доля находится в растворимых соединениях в очень низких концентрациях, то промышленная разработка экономически нецелесообразна. Следовательно, выполним расчёт на базе урана-238 только из месторождений, причём по нижнему пределу массы: m = 5 млн тонн = 5×10^9 кг.

При делении одного ядра плутония-239, получаемого из урана-238, и при последующих распадах осколков деления высвобождается тепловая энергия: e = 207 МэВ = $3{,}318 \times 10^{-11}$ Дж, или в пересчёте на 1 кг вещества $E_0 = 8{,}361 \times 10^{13}$ Дж/кг. При полном вовлечении 5 млн тонн урана-238 в ЗЯТЦ можно произвести энергию, равную:

$$E = E_0 m = 8{,}361 \times 10^{13} \times 5 \times 10^9 = 4{,}18 \times 10^{23} \text{ Дж}.$$

КПД современных атомных электростанций – приблизительно 33 % [6], поэтому электрическая энергия составит:

$$E_{эл} = 4{,}18 \times 10^{23} \times 0{,}33 = 1{,}38 \times 10^{23} \text{ Дж}.$$

Здесь не учтён обеднённый уран-238 в отвалах, образующихся после обогащения природного урана. В мире накоплено более 2 млн тонн обеднённого гексафторида урана (ОГФУ) [7]. Только в Российской Федерации в специальных стальных цилиндрических контейнерах хранится свыше 1 млн тонн ОГФУ [7]. В пересчёте на чистый уран-238 мировые запасы в форме гексафторида урана можно оценивать на уровне 1–1,5 млн тонн. Некоторая часть обеднённого урана находится в радиоактивных могильниках как составляющая облучённого отработанного ядерного топлива и отходов. Тысячи тонн (если не больше) обеднённого урана использованы и хранятся в виде различных готовых артиллерийских боеприпасов высокой бронепробиваемости. В ЗЯТЦ также целесообразно задействовать высокообогащённый плутоний-239 из накопленного ядерного оружия.

Необходимо иметь в виду, что ЗЯТЦ можно организовать, применяя вместо урана-238 торий-232, запасы которого в месторождениях на территории России как минимум в два раза больше (таблица) [8].

Таблица – Оценка потенциальных запасов невозобновляемой энергии

Ресурс	Доля, %
Энергия деления тория-232	43
Энергия деления урана-238	16
Энергия термоядерной реакции трития, получаемого из лития-6	39
Энергия деления урана-235	0,1
Энергия современных углеводородных источников	1,9
В том числе:	
• нефть	0,2
• газ	0,4
• уголь	1,3

Следует отметить, что ВГС могут быть не только атомными: если есть экономический, технологический и прочий смысл в других видах электрической генерации, то её следует использовать, но обязательно в рамках единой энергетической системы, основу ВГС которой будет составлять ЗЯТЦ.

Оценка запасов энергии урана-238 для запуска и работы ОТС

Согласно [1] для придания маховикам с удельными массами 450 и 200 кг/пог. м абсолютной взлётной скорости 13,015 и 0,365 км/с соответственно понадобится энергия $3{,}544 \times 10^{10}$ Дж/пог. м. Если время на разгон задать 20 дней, то на каждый погонный метр ОТС потребуется мощность 21,6 кВт. При этом на восполнение потерь, возникающих при движении, торможении и разгоне маховиков, необходимо дополнительно 1,16 ГДж/пог. м энергии ($0{,}116 \times 10^{10}$ Дж/пог. м), т. е. ОТС можно условно рассматривать как кинетический аккумулятор энергии (рисунок 5).

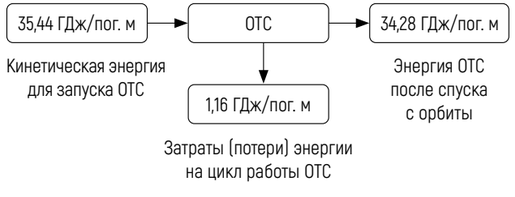


Рисунок 5 – Энергетический баланс работы ОТС

Обеспечение ОТС электрической энергией для функционирования линейных электродвигателей ленточных маховиков и систем их магнитного подвешивания предлагается за счёт использования ядерной энергетики на основе ЗЯТЦ, позволяющей выработать нужное её количество на длительном временном интервале без оказания существенного влияния на окружающую среду. Так, при стартовой длине ОТС 40 076 км ≈ $4{,}008 \times 10^7$ м (по экватору Земли) для его начального запуска из состояния полного покоя необходимо затратить электроэнергию в количестве:

$$E_{н.з} = 35{,}44 \times 10^9 \times 4{,}008 \times 10^7 = 1{,}42 \times 10^{18} \text{ Дж}.$$

Если при этом начальный запуск маховиков на стартовую скорость (раскрутку вокруг планеты) производить в течение $t = 20$ суток $= 20 \times 24 \times 3600 = 1{,}728 \times 10^6$ с (мягкие условия запуска), то средняя потребляемая электрическая мощность составит:

$$P_{ср} = E_{н.з} / t = 1{,}42 \times 10^{18} / 1{,}728 \times 10^6 = 8{,}218 \times 10^{11} \text{ Вт} = 821{,}8 \text{ ГВт}.$$

Следовательно, можно приблизительно оценить число полных запусков ОТС за счёт энергии только ЗЯТЦ, использующего в качестве топлива обеднённый уран-238 неразработанных земных месторождений:

$$N_{п.з} = E_{эл} / E_{н.з} = 1{,}38 \times 10^{23} / 1{,}42 \times 10^{18} = 9{,}71 \times 10^4.$$

Таким образом, только ядерная энергетика на основе ЗЯТЦ позволит осуществить более 90 000 запусков ОТС, хотя остановка маховиков потребуется примерно через каждые 100 полных геокосмических циклов (т. е. один раз в несколько лет) для проведения плановых техосмотров и ремонтов.

Рассчитаем энергию, необходимую для восполнения затрат энергии при последующем запуске:

$$E_{в.з} = 1{,}16 \times 10^9 \times 4{,}008 \times 10^7 = 4{,}65 \times 10^{16} \text{ Дж}.$$

Тогда количество запусков, необходимых для восполнения необратимо потерянной энергии, составит:

$$N_{в.з} = E_{эл} / E_{в.з} = 1{,}38 \times 10^{23} / 4{,}65 \times 10^{16} = 2{,}97 \times 10^6.$$

После взлёта и посадки ОТС имеется возможность взять от него для нужд энергосистемы Земли электрическую энергию и передать её внешним потребителям и (или) внешним аккумулирующим станциям:

$$E_{н.з} - E_{в.з} = 1{,}42 \times 10^{18} - 4{,}65 \times 10^{16} = 1{,}374 \times 10^{18} \text{ Дж}.$$

Указанные расчёты показывают, что существующих запасов ядерного топлива достаточно для успешного устойчивого функционирования ОТС в течение тысячелетий без ущерба основным потребителям энергии на планете Земля.

Заключение

В результате проведённого исследования можно сделать ряд выводов.

1. Использование урана-238 в топливных ядерных сборках реакторов на быстрых нейтронах позволит нарабатывать оптимальное количество энергетического плутония-239 для его последующего применения в качестве первичного энергоносителя в этих же реакторах. Данный подход даст возможность реализовать ЗЯТЦ и обеспечить длительное устойчивое функционирование ОТС без существенной нагрузки на экосистему планеты.

2. Технология ЗЯТЦ снизит до минимума логистические затраты, позволит утилизировать уже накопленные радиоактивные отходы из могильников, повышая общую радиационную безопасность Земли. Кроме того, ЗЯТЦ в отличие от тепловой генерации практически не сопровождается выбросом химически вредных веществ в окружающую среду.

3. Переработка ОЯТ в ходе ЗЯТЦ даст возможность производить массу ценных радиоактивных изотопов и отказаться от захоронения ОЯТ в могильниках.

4. Запасы извлекаемого из земных месторождений урана-238 составляют не менее 5 млн тонн. Такого количества в случае реализации ЗЯТЦ достаточно для производства не менее $1{,}38 \times 10^{23}$ Дж электрической энергии. Её хватит для обеспечения более 90 000 полных запусков ОТС или более 2 млн запусков, требующих только восполнения необратимо потерянной энергии.

5. В настоящее время в специальных контейнерах хранится ОГФУ с высоким содержанием урана-238. В пересчёте на чистый уран-238 его мировые запасы оцениваются на уровне 1–1,5 млн тонн. Некоторые запасы обеднённого урана находятся в радиоактивных могильниках как составная часть облучённого отработанного ядерного топлива и отходов. Тысячи тонн обеднённого урана имеются в виде различных артиллерийских боеприпасов высокой бронепробиваемости. В ЗЯТЦ также целесообразно применять высокообогащённый плутоний-239 из накопленного ядерного оружия.

6. ЗЯТЦ можно организовать, используя вместо урана-238 торий-232, запасы которого в месторождениях на территории России как минимум в два раза больше, чем урана-238.

7. ВГС могут быть не только атомными. Если есть экономический, технологический и прочий смысл в других видах электрической генерации, то её следует задействовать, но обязательно в рамках единой энергетической системы Земли, основу ВГС которой будет составлять ЗЯТЦ.

Список основных источников

1. *Юницкий, А.Э. Создание математической модели общепланетарного транспортного средства: разгон маховиков, прохождение атмосферы, выход на орбиту / А.Э. Юницкий, Р.А. Шаршов, А.А. Абакумов // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 77–83.*
2. *Першуков, В.А. Замкнутый ядерный топливный цикл / В.А. Першуков, Г.В. Тихомиров // Энергетический вестник. – 2023. – № 28. – С. 88–95.*
3. *Реактор БРЕСТ и пристанционный ядерный топливный цикл / А.Г. Глазов [и др.] // Атомная энергия. – 2007. – Т. 103, № 1. – С. 15–21.*
4. *Горин, Н.В. Гексафторид урана – радиоактивные отходы или ценное сырьё? / Н.В. Горин // Экологическая и техносферная безопасность горнопромышленных регионов. Проблемы совершенствования управления природными и социально-экономическими процессами на современном этапе: сб. тр. IX междунар. науч.-практ. конф., Екатеринбург – Бишкек, 25 мая 2021 г. – Екатеринбург: УГГУ, 2021. – С. 72–77.*
5. *Анисичкин, В.Ф. Ядерная топка Земли / В.Ф. Анисичкин, А.А. Безбородов // Наука из первых рук. – 2009. – № 3 (27). – С. 26–35.*
6. *Таймаров, М.А. Повышение КПД атомной электростанции / М.А. Таймаров, Е.Г. Чикляев // Анализ проблем внедрения результатов инновационных исследований и пути их решения: сб. ст. междунар. науч.-практ. конф., Иркутск, 9 июня 2020 г.: в 2 ч. – Уфа: Omega science, 2020. – Ч. 2. – С. 109–111.*
7. *Обеднённый гексафторид урана (современная ситуация, вопросы безопасного обращения и перспективы) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rosatom.ru/ogfu_report_2020.pdf. – Дата доступа: 25.05.2024.*
8. *Информирование населения как инструмент развития атомной отрасли / Н.В. Горин [и др.] // Государственное управление. Электронный вестник. – 2021. – № 85. – С. 6–24.*



УДК 662.758.4:552.576.1:66.088+629.7

Электрогидроударная установка для получения водоугольного топлива

А.Э. Юницкий[1, 2]
доктор философии транспорта

Н.С. Першай[2]
кандидат технических наук

С.А. Арнаут[2]
кандидат технических наук

И.О. Борисевич[2]

Д.А. Конёк[2]

[1] ООО «Астроинженерные технологии»,
г. Минск, Беларусь

[2] ЗАО «Струнные технологии»,
г. Минск, Беларусь

Представлены результаты использования электрогидроударной установки UniThorr 2, сконструированной ЗАО «Струнные технологии» (г. Минск, Беларусь), для получения водоугольного топлива (ВУТ). Исследовано влияние различных параметров (содержание твёрдой фазы, гранулометрический состав) на реологические свойства и седиментационную устойчивость водоугольных суспензий, что позволило подобрать рецептуру ВУТ. На основании экспериментальных данных предложена технологическая схема его изготовления, включающая использование электрогидроударной установки; выявлены закономерности между технологическими параметрами ВУТ; определён оптимальный состав топлива. Показано, что путём корректировки гранулометрического состава ВУТ удалось уменьшить динамическую вязкость образцов в шесть раз.

Разработки в указанной области являются важной составляющей реализации программы «ЭкоМир», в частности в производстве энергии (тепловой и электрической) и биогумуса в экваториальном линейном городе для нужд общепланетарного транспортного средства и космического индустриального ожерелья «Орбита».

Ключевые слова:
бурый уголь, водоугольная суспензия (ВУС), водоугольное топливо (ВУТ), динамическая вязкость, дисперсность, космическое индустриальное ожерелье «Орбита» (КИО «Орбита»), седиментационная устойчивость, электрогидравлический эффект, электрогидроударная установка (ЭГУ), UniThorr.

UDC 662.758.4:552.576.1:66.088+629.7

Electrohydraulic Discharge Equipment for Coal-Water Fuel Production

A. Unitsky[1, 2]
Dr. of Philosophy
in Information Technologies
(Transport)

N. Pershai[2]
Ph.D. in Engineering Sciences

S. Arnaut[2]
Ph.D. in Engineering Sciences

I. Borisevich[2]

D. Konyok[2]

[1] Astroengineering Technologies LLC,
Minsk, Belarus

[2] Unitsky String Technologies Inc.,
Minsk, Belarus

The results of using UniThorr 2 electrohydraulic discharge equipment, designed by Unitsky String Technologies Inc. (Minsk, Belarus), to produce coal-water fuel (CWF) are provided. The impact of various parameters (solids content, particle size distribution) on the rheological properties and sedimentation stability of coal-water suspensions has been studied, that made it possible to select the formulation of CWF. The process flow of its obtaining with the use of electrohydraulic discharge equipment is proposed on the basis of experimental evidence; patterns between the process parameters of CWF are distilled; the optimal fuel composition is determined. It is demonstrated that by adjusting the particle size distribution of CWF it has been possible to reduce the dynamic viscosity of the samples by six times.

The developments in this area are an important component of the implementation of the EcoSpace program, in particular in the energy (heat and electricity) and biohumus production in the Equatorial Linear City for the needs of the General Planetary Vehicle and the Industrial Space Necklace "Orbit".

Keywords:
brown coal, coal-water fuel (CWF), coal-water suspension (CWS), dispersion, dynamic viscosity, electrohydraulic discharge equipment (EHDE), electrohydraulic effect, Industrial Space Necklace "Orbit" (ISN "Orbit"), sedimentation stability, UniThorr.

Введение

Космическое индустриальное ожерелье «Орбита» (КИО «Орбита») – многоорбитальный индустриально-жилой комплекс с развитой транспортной инфраструктурой, построенный по модели экваториального линейного города и охватывающий планету в плоскости экватора. Он будет снабжать население Земли космической продукцией, выступать буфером при возникновении угрозы жизни земной цивилизации со стороны космоса (в том числе метеоритной), а также технологической платформой для освоения дальнего космоса [1–6].

В структуру КИО «Орбита» входят ЭкоКосмоДома (ЭКД), которые представляют собой орбитальные сооружения с обитаемым внутренним пространством, защищённым от внешних агрессивных космических условий [3, 4]. В такой среде остро проявляется потребность в создании замкнутых экосистем биосферного типа, предусматривающих полный цикл самообеспечения людей всем необходимым.

При разработке данных экосистем следует отдавать предпочтение оборудованию и технологиям, принцип действия которых основан на использовании электроэнергии. Это обусловлено тем, что в космическом пространстве имеется неиссякаемый источник солнечной энергии, которую можно преобразовать в электрическую [4]. Соответственно, применение электрогидроударной установки (ЭГУ) на околоземной орбите станет хорошей альтернативой традиционным методам, представленным в различных промышленных технологиях.

Принцип функционирования ЭГУ базируется на электрогидравлическом эффекте: внутри объёма жидкости протекает электрический разряд, вокруг зоны которого возникают сверхвысокие импульсные давления, способные совершать механическую работу и сопровождающиеся комплексом физико-химических явлений [7]. Главные плюсы внедрения электрогидроударной технологии в условиях космической жизни – экологичность и безопасность.

Задействование ЭГУ в промышленности достаточно разнообразно. Существует множество направлений использования электрогидроудара: в машиностроении, строительстве, горном деле, медицине, сельском хозяйстве, энергетике и др. В связи с тем, что одной из целей построения КИО «Орбита» является перенос на него с планеты Земля вредной промышленности, замена традиционных технологий на ЭГУ в новой среде будет разумным решением.

При реализации программы «ЭкоМир», в частности с целью получения энергии, а также биогумуса в экваториальном линейном городе (в первую очередь для нужд ЭКД), предлагается применение ЭГУ. Возможность производства биогумуса из измельчённого бурого угля при помощи такой установки показана в [8]. Кроме того, электрогидравлический эффект можно использовать в технологии получения топлива (в данном случае речь идёт о водоугольном топливе (ВУТ)) [9], что подтверждено экспериментальными результатами, представленными в настоящем исследовании.

Перспективы использования угля в качестве топлива

Электрическую и тепловую энергию получают путём сжигания различных видов топлива, таких как древесина, торф, уголь, газ, нефть и др. К основным топливным ресурсам относятся нефть, природный газ и уголь (таблица 1), продуцирующие более 80 % производимой на планете энергии [10].

Мировые геологические запасы топлива оцениваются примерно в 13 трлн тонн, т. е. обеспеченность человечества минеральным топливом составляет около 1000 лет при текущем уровне потребления. При этом на уголь приходится 60 % запасов (по теплотворной способности), а на нефть и газ – 27 %. В то же время структура мирового потребления первичных источников энергии складывается иная: в 2022 г. на уголь приходилось 27 %, на нефть – 30 %, на газ – 23 %.

Достоверные запасы углей в 2022 г. оцениваются в 1069 млрд тонн, причём 70 % из них – каменный уголь и антрациты, остальное – бурый уголь, а обеспеченность планеты углём составляет 400 лет при сохранении темпов добычи и потребления на уровне 2022 г. [11]. Общемировые запасы горючих сланцев – 650 трлн тонн. Тогда при среднегодовой мощности душевого потребления энергии 5 кВт/ч они на 100 % снабдят энергией земное население численностью 10 млрд человек примерно в течение 5400 лет [12].

Наиболее богатыми углём являются США (28 %), Россия (более 18 %), Австралия (13 %), Китай (11 %). На эти государства приходится около 70 % его мировых достоверных запасов.

Сегодня уголь добывают примерно в 80 странах: каменного – около 3,5 млрд т/год, бурого – 1,2 млрд т/год. В настоящее время на первое место по добыче этого ископаемого вышел Китай: 4,4 млрд тонн в 2022 г. [13]. Крупнейшими его производителями остаются Индия (937 млн т/год), Индонезия (690 млн т/год), США (540 млн т/год).

Таблица 1 – Перечень стран (первые восемь) по запасам природных углеводородов, 2022 г.

Страна	Уголь, млрд тонн	Страна	Нефть, млрд барр.	Страна	Природный газ, трлн м³
США	249	Венесуэла	298	Россия	39
Россия	162	Саудовская Аравия	266	Иран	32
Австралия	149	Иран	157	Катар	25
Китай	141	Ирак	148	Туркменистан	20
Индия	105	Кувейт	100	США	13
Индонезия	40	ОАЭ	97	Китай	8
Германия	36	Россия	94	Венесуэла	6
Украина	34	Канада	80	Саудовская Аравия	6

Достоверные запасы нефти в мире оцениваются в 245 млрд тонн, а ресурсообеспеченность ею – в 55 лет при текущем уровне потребления. В 2022 г. мировая добыча сырой нефти выросла на рекордные 5,4 %, что намного выше, чем в 2021 г. (+1,6 %) и средний показатель за 2010–2019 гг. (+1,3 % в год).

Достоверные запасы природного газа в мире увеличиваются большими темпами и оцениваются в 199 трлн м³. По прогнозам транснациональной нефтегазовой компании British Petroleum, при сохранении уровня добычи 2018 г. мировых запасов природного газа должно хватить примерно на 151 год [11].

Следовательно, обеспеченность планеты таким топливным ресурсом, как уголь, значительно выше, что делает переход к его использованию при реализации программы «ЭкоМир» более целесообразным.

Водоугольное топливо и его особенности

ВУТ – композиционная дисперсная система, состоящая из мелкодисперсного угля, воды и пластифицирующего агента.

Технология получения и сжигания ВУТ появилась в 1970-х годах в России и имела широкое распространение в Китае и Японии. В настоящее время массовое производство и использование ВУТ осуществляется в Китае, причём потребление угля в качестве топлива в этой стране с каждым годом растёт.

Преимущества применения углей в виде ВУТ [14]:

- пожаро- и взрывобезопасность (при производстве, хранении, транспортировке и использовании);
- снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (пыль, зола, оксиды азота и серы) и количества образующейся золы за счёт повышения полноты сгорания горючей массы до 97 %;
- полная механизация технологических процессов;
- различные способы транспортировки.

В технологии получения и сжигания ВУТ определяющими являются следующие свойства: содержание твёрдой фазы (в данном случае угля), гранулометрический состав суспензии, динамическая вязкость, статическая стабильность (т. е. седиментационная устойчивость), зольность, низшая теплота сгорания и др. (таблица 2) [9, 14].

Таблица 2 – Технологические параметры ВУТ

Параметр	Допустимый диапазон значений
Массовая доля твёрдой фазы, %	45–70
Гранулометрический состав, мкм	Менее 250
Плотность, кг/м³	Около 1200
Зольность угля, %	5–50
Низшая теплота сгорания, ккал/кг	2300–4700
Динамическая вязкость (скорость сдвига 13,5 с⁻¹)	0,8–2
Температура воспламенения, °С	450–650
Температура горения, °С	900–1150
Температура замерзания (без добавок), °С	0
Статическая стабильность, сутки: • без применения добавок • с применением добавок	 До 5 Не менее 30

Все эти параметры значительно варьируются в зависимости от исходного сырья и корректируются при его смене. Однако, если не учитывать влияние того или иного фактора, а также их совокупности на характер изменения свойств ВУТ, получить топливо не представляется возможным.

При разработке технологии ВУТ для её эффективного использования необходимо решить ряд возникающих сложностей, таких как обеспечение седиментационной устойчивости, оптимальных реологических характеристик при максимальном содержании твёрдой фазы. Это можно сделать посредством подбора исходного сырья для приготовления ВУТ, его гранулометрического состава, а также пластифицирующих и стабилизирующих добавок.

Соответственно, цель исследования заключалась в изучении влияния различных параметров (гранулометрический состав, содержание твёрдой фракции) на седиментационные и реологические свойства ВУТ, полученного при помощи ЭГУ, и в подборе оптимальных компонентов. На основе экспериментальных данных предложена технологическая схема производства ВУТ.

Материалы и методы исследования

Измельчение угля и получение ВУТ осуществляли на модернизированной ЭГУ UniThorr 2 (рисунок 1), сконструированной сотрудниками ЗАО «Струнные технологии» (г. Минск, Беларусь). Ранее авторами исследовано влияние различных параметров (размер исходной фракции, конструкция камеры, свойства рабочей среды, величина рабочего зазора, объём загрузки) на качество измельчения угля в ЭГУ UniThorr в дискретном режиме [9]. Основными составными частями ЭГУ UniThorr 2 являются генератор импульсных токов, рабочая камера, устройство подачи угля, насос для подачи воды, классификатор и система для разделения частиц по фракциям.

Рабочая камера представляет собой ёмкость из полимерного материала, внутрь которой подаются уголь, вода и где протекает электрогидравлический разряд, приводящий к измельчению материала. Благодаря созданному в камере циркуляционному процессу измельчённые частицы выносятся в классификатор, а затем в систему осветления, где отстаиваются и разделяются по фракциям: грубодисперсная (20–200 мкм) и высокодисперсная (1–20 мкм).

Для проведения исследований использовали бурый уголь марки Б1. Диапазон исходной фракции, подаваемой в рабочую камеру, – 0–50 мм. В качестве рабочей жидкости применяли водопроводную воду. После разделения водоугольной суспензии (ВУС) по фракциям в системе осветления готовили образцы ВУТ путём смешивания в разных соотношениях фракций нужного гранулометрического состава. Равномерность распределения частиц в объёме суспензии обеспечивали мешалкой ULAB US-2200D (1500 об/мин в течение 10 мин). Содержание твёрдой фазы выявляли по ГОСТ Р 52911-2020 [15]. Дисперсионный анализ образцов ВУТ проводили на лазерном дифракционном анализаторе размеров частиц FRITSCH ANALYSETTE 22 NanoTec. Реологические исследования осуществляли с помощью ротационного вискозиметра RheoTest 2.



Рисунок 1 – ЭГУ UniThorr 2: рабочая камера и устройство подачи угля

Седиментационную устойчивость образцов ВУТ определяли визуально: через заданные промежутки времени оценивали толщину слоя, отделившегося от суспензии в процессе отстаивания. Увеличение его высоты свидетельствовало о дестабилизации дисперсной системы, что вело к постепенному уплотнению твёрдой фазы. Седиментационную устойчивость S рассчитывали по формуле [16]:

$$S = \frac{H_0 - H_c}{H_0} 100\ \%,$$

где H_0 – высота слоя исходного образца;

H_c – высота отделившегося осветлённого слоя.

Экспериментальные результаты

Решающие характеристики суспензии для получения ВУТ – размер частиц угля и их количество. Кроме того, процесс измельчения является ключевым и самым энергозатратным.

Следовательно, тщательный подбор оборудования позволит уменьшить технологические расходы на производство топлива. Согласно основным параметрам ВУТ (таблица 2) размеры частиц дисперсной фазы не должны превышать 250 мкм. Влияние дисперсионного состава на вязкость имеет определяющее значение [17]. Правильно подобранный гранулометрический состав твёрдой фазы способствует снижению динамической вязкости и увеличению стабильности суспензии [14]. Соответственно, для соблюдения требуемых технологических параметров ВУТ, таких как динамическая вязкость и седиментационная устойчивость, необходимо использовать более мелкую фракцию (размер частиц менее 150 мкм).

В результате измельчения бурого угля в ЭГУ UniThorr 2 получили два вида ВУС, отличающихся по размеру частиц: грубодисперсную и высокодисперсную фракции.

На рисунке 2 приведён гранулометрический состав грубодисперсной фракции ВУС: 38 % – частицы размером 50–100 мкм, 30 % – 100–200 мкм, 24 % – 20–50 мкм, 8 % – менее 20 мкм.

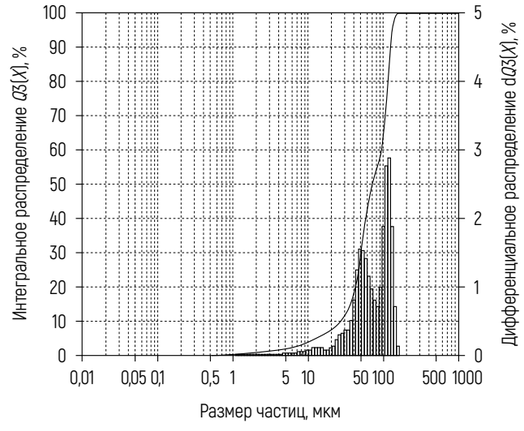


Рисунок 2 – Интегральное и дифференциальное распределение частиц грубодисперсной фракции ВУС по размерам

Высокодисперсная фракция ВУС в основном представлена частицами размером 5–20 мкм (48 %) и 20–50 мкм (12 %). На частицы размером 0,5–5 мкм приходятся оставшиеся 40 % от их общего количества, при этом распределение таких частиц практически однородное и колеблется в диапазоне от 6 до 10 % (рисунок 3).

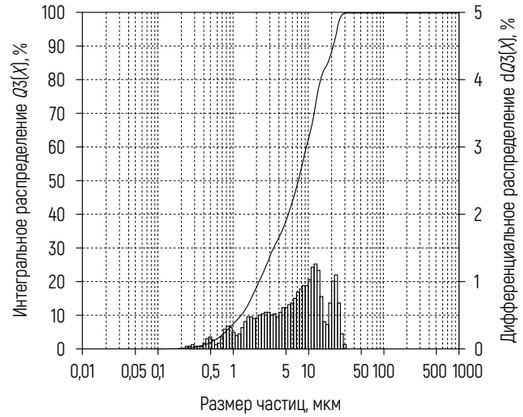


Рисунок 3 – Интегральное и дифференциальное распределение частиц высокодисперсной фракции ВУС по размерам

Экспериментально установлено (рисунок 4), что снижение массовой доли угля с 46 до 40 % позволило уменьшить динамическую вязкость ВУС с 10 до 5,5 Па·с при скорости сдвига 13,5 $с^{-1}$. Это свидетельствует о том, что приготовление ВУТ только из высокодисперсной фракции не имеет практического применения, поскольку для получения требуемых реологических характеристик (не более 1–2 Па·с при скорости сдвига 13,5 $с^{-1}$) необходимо уменьшить массовую долю твёрдой фазы до уровня ниже 40 %.

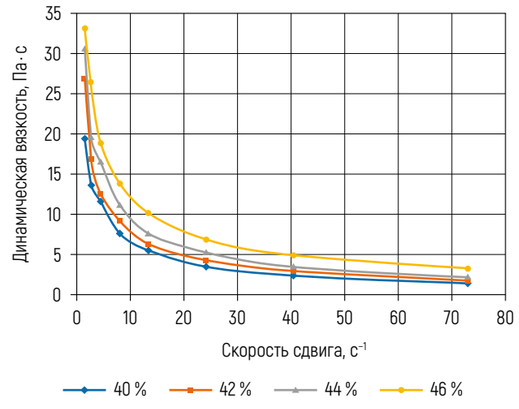


Рисунок 4 – Реологические кривые зависимости динамической вязкости от скорости сдвига при изменении массовой доли высокодисперсной фракции ВУС

Кроме того, для приготовления ВУТ нецелесообразно использование только грубодисперсной фракции отдельно от высокодисперсной, что обусловлено следующими факторами:

- низкая седиментационная устойчивость (расслоение происходит в течение нескольких минут);
- высокая динамическая вязкость (от 10 Па·с при скорости сдвига 13,5 $с^{-1}$);
- незначительное содержание твёрдой фазы угля.

Добавление грубодисперсной фракции ВУС к высокодисперсной в различных соотношениях позволяет снизить динамическую вязкость с 10 до 1,6 Па·с при скорости сдвига 13,5 $с^{-1}$, параллельно увеличив содержание грубодисперсной фракции в твёрдой фазе до 70–80 % (рисунок 5).

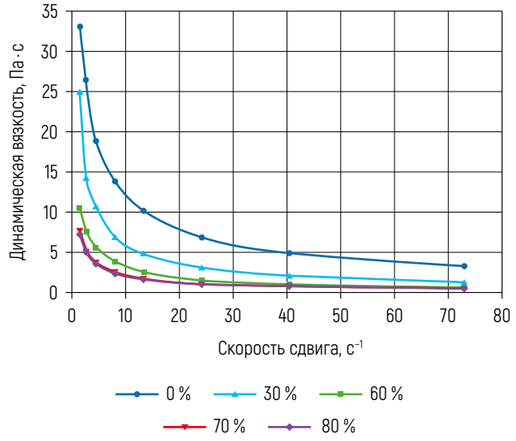


Рисунок 5 – Реологические кривые зависимости динамической вязкости от скорости сдвига при изменении массовой доли грубодисперсной фракции ВУС

Экспериментальные данные показали, что максимальной устойчивостью обладают образцы ВУТ без добавления либо с добавлением до 30 % грубодисперсной фракции (от общей массы твёрдой фазы). Однако такие образцы характеризуются высокой динамической вязкостью (рисунок 5). Введение более 30 % грубодисперсной фракции ухудшает показатели устойчивости, а более 80 % приводит к образованию в течение первых 12 ч плотного, трудно перемешиваемого осадка.

На рисунке 6 представлена зависимость седиментационной устойчивости образцов ВУТ от времени осаждения при различном содержании грубодисперсной фракции ВУС.

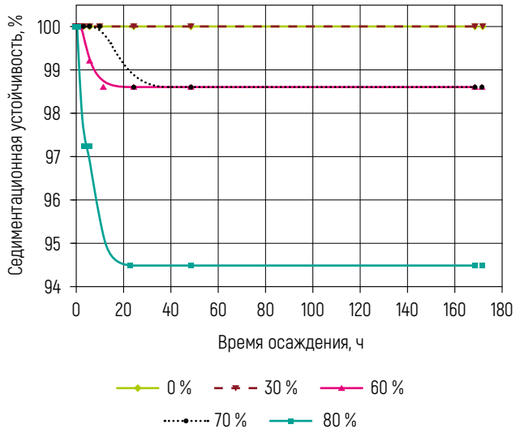


Рисунок 6 – Зависимость седиментационной устойчивости образцов ВУТ от времени осаждения при различном содержании грубодисперсной фракции ВУС

Установлено, что динамическая вязкость исследованных образцов ВУТ снижается с возрастанием количества частиц размером 50–100 мкм, а также с расширением диапазона самых мелких и крупных частиц в дисперсной системе. Это обусловлено более компактным строением системы за счёт заполнения мелкими частицами пустот между крупными и вытеснения жидкости, что приводит к улучшению текучести ВУТ и повышению содержания твёрдой фазы. Таким образом, корректируя гранулометрический состав ВУТ, удалось уменьшить динамическую вязкость образцов в шесть раз.

Экспериментальным путём разработана рецептура приготовления ВУТ, отвечающая требованиям к массовой доле твёрдой фазы (содержание угля 46 %), дисперсионному составу (70 % грубодисперсной (менее 200 мкм) и 30 % высокодисперсной (менее 50 мкм) фракций), реологическим свойствам (динамическая вязкость не более 2 Па·с) и седиментационной устойчивости (более пяти дней). Данная информация легла в основу построения принципиальной технологической схемы производства ВУТ.

Технология получения ВУТ посредством ЭГУ

Основные стадии изготовления ВУТ (рисунок 7):

- предварительная обработка исходного сырья (бурого угля). На этом этапе необходимо сепарировать сырьё от грубых и металлических включений. Кроме того, может проводиться обогащение сырья, его сушка и др.;
- одно- или двухступенчатое измельчение угля в водной среде, в результате чего образуется ВУС. На первой ступени осуществляется грубодисперсное измельчение в мельнице, на второй – высокодисперсный помол. Такой способ оптимизирует гранулометрический состав ВУС и оказывает положительное влияние на динамическую вязкость ВУТ;
- завершающая стадия: получение ВУТ посредством введения стабилизирующих или пластифицирующих добавок.



Рисунок 7 – Основные стадии изготовления ВУТ

Принципиальная технологическая схема производства ВУТ с помощью ЭГУ представлена на рисунке 8.

Из бункера сырья 1 после магнитного сепаратора с помощью шнекового питателя 2 уголь подаётся вместе с водой в разрядную камеру ЭГУ 3, где происходит его измельчение, в результате чего получается ВУС. Далее ВУС перемещается через классификатор 4 и систему осветления 5, где выполняется разделение суспензии на грубодисперсную и высокодисперсную фракции. Затем фракции выгружаются в систему накопительных ёмкостей 6, откуда после проверки дисперсионного состава ВУС в нужной пропорции направляются в реактор для приготовления ВУТ 8. Сюда при необходимости подаётся вода. Циркуляция жидкости в ЭГУ осуществляется под действием центробежного насоса 7.

Заключение

С целью реализации программы «ЭкоМир» в рамках получения энергии и биогумуса в экваториальном линейном городе для нужд общепланетарного транспортного средства и КИО «Орбита» (в будущем – до миллиарда тонн ежегодно) предлагается использовать такое природное сырьё, как уголь, планетарных запасов которого достаточно.

В настоящей работе показана возможность применения ЭГУ для получения ВУТ, отражены основные преимущества электрогидравлического эффекта. Представленные данные подтверждены в результате научных исследований, проведённых в 2022–2024 гг. на экспериментальной модернизированной установке UniThorr 2, сконструированной сотрудниками ЗАО «Струнные технологии».

Опытным путём разработана технологическая схема получения ВУТ, предполагающая задействование электрогидравлического эффекта, выявлены закономерности между технологическими параметрами ВУТ, определён оптимальный состав топлива.

Дальнейшие исследования будут направлены на улучшение рецептуры ВУТ и определение влияния природных характеристик сырья на его технологические свойства. Планируется провести эксперименты с горючими сланцами в качестве альтернативы бурому углю.

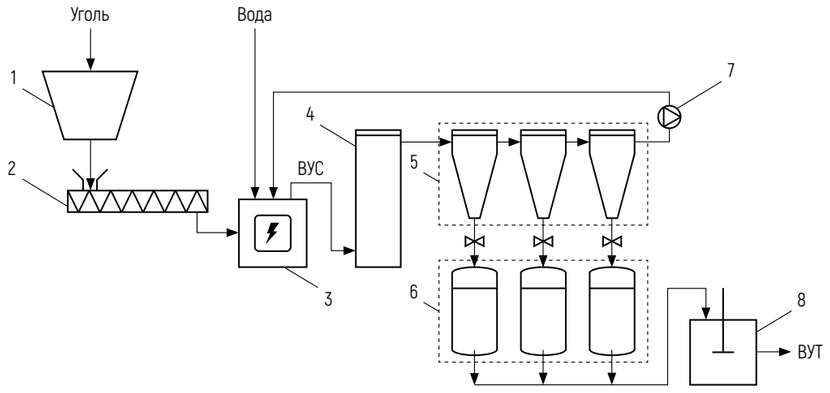


Рисунок 8 – Принципиальная технологическая схема получения ВУТ:
1 – бункер сырья; 2 – шнековый питатель; 3 – разрядная камера ЭГУ; 4 – классификатор; 5 – система осветления; 6 – накопительные ёмкости ВУС; 7 – центробежный насос; 8 – реактор для приготовления ВУТ

Список основных источников

1. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Гомель: Инфотрибо, 1995. – 337 с.: ил.*
2. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.*
3. *Юницкий, А.Э. Создание математической модели общепланетарного транспортного средства: разгон маховиков, прохождение атмосферы, выход на орбиту / А.Э. Юницкий, Р.А. Шаршов, А.А. Абакумов // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 77–83.*
4. *Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 12 сент. 2020 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – 516 с.*
5. *Юницкий, А.Э. Инженер: автобиография / Анатолий Юницкий. – Минск: Белпринт, 2021. – 400 с.: ил.*
6. *Unitsky, A. System Foundations of Non-Rocket Near Space Industrialization: Problems, Ideas, Projects / A. Unitsky. – Minsk: Gradient, 2021. – 568 p.*
7. *Юткин, Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности / Л.А. Юткин. – Л.: Машиностроение, 1986. – 253 с.*
8. *Юницкий, А.Э. Варианты применения электрогидроударной установки в условиях проживания людей в космосе / А.Э. Юницкий, Н.С. Першай, С.А. Арнаут // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы VI междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 7–8 окт. 2023 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2024. – С. 322–335.*
9. *Юницкий, А.Э. Использование электрогидроудара в технологии приготовления водоугольного топлива / А.Э. Юницкий, Н.С. Першай, С.А. Арнаут // Эффективность инженерных систем и энергосбережение: сб. ст. междунар. науч.-практ. конф., Брест, 19–20 окт. 2023 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Брест. гос. техн. ун-т; под ред. В.Г. Новосельцева. – Брест: Изд-во БрГТУ, 2023. – С. 128–136.*
10. *Statistical Review of World Energy. 2020. 69th ed. [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf. – Date of access: 12.06.2024.*
11. *Природные ресурсы мировой экономики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://mirec.mgimo.ru/2014/2014-02/prirodnye-resursy-mirovoj-ekonomiki?utm_source=google.com&utm_medium=organic&utm_campaign=google.com&utm_referrer=google.com. – Дата доступа: 14.06.2024.*
12. *Юницкий, А.Э. Инженерия. Мир как инженерный проект / А.Э. Юницкий // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы VI междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 7–8 окт. 2023 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2024. – С. 22–135.*
13. *China's Coal Use Increased to a Record High in 2022, IEA Says [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.rfa.org/english/news/environment/coal-07282023072108.html. – Date of access: 17.06.2024.*
14. *Баранова, М.П. Комплексная технология получения и транспорта водоугольных топливных суспензий из углей разной степени метаморфизма / М.П. Баранова // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2011. – Т. 4, № 6. – С. 613–619.*
15. *Топливо твёрдое минеральное. Определение общей влаги: ГОСТ Р 52911-2020 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://files.stroyinf.ru/Data/744/74490.pdf. – Дата доступа: 18.06.2024.*
16. *Сверчков, И.П. Снижение выбросов загрязняющих веществ при термической утилизации отходов углеобогащения: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.36 / И.П. Сверчков. – СПб., 2019. – 197 л.*
17. *Долинский, А.А. Водоугольное топливо: перспективы использования в теплоэнергетике и жилищно-коммунальном секторе / А.А. Долинский, А.А. Халатов // Промышленная теплотехника. – 2007. – Т. 29, № 5. – С. 70–79.*



УДК 620.98+629.7

Оптимизация душевого потребления энергии техногенной цивилизацией в биосфере планеты

А.Э. Юницкий[1,2]
доктор философии транспорта

В.Н. Гаранин[2]
кандидат технических наук

А.Г. Климков[2]
кандидат экономических наук

Р.С. Ковалёв[2]

[1] ООО «Астроинженерные технологии»,
г. Минск, Беларусь

[2] ЗАО «Струнные технологии»,
г. Минск, Беларусь

Индустриальная составляющая энергетической мощности земной цивилизации в настоящий период примерно равна 2,6 кВт/чел. Вместе с тем биологическая составляющая энергетической мощности человека, поступающая с пищей и являющаяся солнечной (главным образом благодаря фотосинтезу в биосфере Земли), – всего около 0,15 кВт/чел и не изменилась за миллионы лет эволюции. Это почти в 20 раз меньше фактической индустриальной составляющей удельной энергетической мощности современного человечества.

Авторами предложена система рекомендаций по оптимизации душевого потребления энергии на планете Земля на основе имеющихся технологий. Инструменты, применённые при выработке данных рекомендаций и представленные в статье:

- **особенности использования энергосберегающих технологий и возобновляемых источников энергии в урбанистике, транспорте, энергетике, сельском хозяйстве, в частности естественной для биосферы солнечной энергии и её реликтовых углеводородных накопителей;**
- **поэтапный вынос наиболее опасной части земной индустрии в ближний космос на экваториальные орбиты путём широкомасштабного внедрения технологии освоения околоземного пространства на основе геокосмического летательного аппарата – общепланетарного транспортного средства;**
- **повышение уровня и качества жизни каждого человека на основе реализации жизненных стандартов нового поколения, сформированных не на культе потребления, а на новых философских и духовно-нравственных аспектах и бережливом отношении к использованию ограниченных земных ресурсов, в том числе энергетических.**

Ключевые слова:
биогумус, биосфера, ограниченные ресурсы, потребление энергии, Струнный транспорт Юницкого (ЮСТ), техносфера, удельная энергетическая мощность человечества, экология.

UDC 620.98+629.7

Optimization of Per Capita Energy Consumption by Technogenic Civilization in Planet Biosphere

A. Unitsky[1,2]
Dr. of Philosophy
in Information Technologies
(Transport)

V. Garanin[2]
Ph.D. in Engineering Sciences

A. Klimkov[2]
Ph.D. in Economic Sciences

R. Kovalev[2]

[1] Astroengineering Technologies LLC,
Minsk, Belarus

[2] Unitsky String Technologies Inc.,
Minsk, Belarus

The industrial component of the energy capacity of the Earth's civilization is approximately 2.6 kW/person at the present time. Herewith, the biological component of human energy capacity, which comes from food and is solar energy (mainly through photosynthesis in the Earth's biosphere) is only about 0.15 kW/person and has remained relatively stable over millions of years of evolution. This is almost 20 times less than the actual industrial component of the specific energy capacity of modern humanity.

The authors have proposed a system of recommendations for optimizing per capita energy consumption on planet Earth based on available technologies. The tools used in the development of these recommendations and presented in the article are as follows:

- **features of the use of energy-saving technologies and renewable energy sources in urbanism, transport, power industry, agriculture, particularly, natural solar energy for the biosphere and its relict hydrocarbon storage;**
- **phased removal of the most dangerous part of the Earth's industry into equatorial orbits through the large-scale introduction of near-Earth space exploration technology based on a geocosmic aircraft – the General Planetary Vehicle;**
- **improving the level and quality of life of each person by the implementation of the living standards of a new generation, formed not on the cult of consumption but on new philosophical, spiritual and moral aspects and a thrifty attitude to the use of limited earthly resources, including energy.**

Keywords:
biohumus, biosphere, ecology, energy consumption, limited resources, specific energy capacity of humankind, technosphere, Unitsky String Transport (uST).

Введение

Существование человеческой цивилизации невозможно без потребления энергии, являющейся источником жизни и развития каждого индивидуума. На сегодняшний день удельная энергетическая мощность человечества составляет около 2,6 кВт/чел [1, 2] и продолжает расти, что негативно сказывается на глобальной экологии Земли. Например, общее потребление электроэнергии пятью ведущими мировыми экономиками (США, Китай, Россия, Индия, Япония), вклад которых в общемировой ВВП в 2022 г. – 53 % [3], достигло (в млн тонн нефтяного эквивалента): в 1990 г. – 4384, в 2022 г. – 8210 [4]. Прирост потребления энергии за приведённый период – 87,3 %.

Вместе с тем совокупная численность населения вышеперечисленных стран изменилась следующим образом (в млн чел.): 1990 г. – 2554,5; 2022 г. – 3466,8 [5]. Прирост населения за данный временной промежуток составил 35,7 %. Соответственно, прирост удельного потребления электроэнергии на примере пяти обозначенных ведущих мировых держав за последние 32 года опережает аналогичный прирост численности их населения почти в 2,5 раза.

Указанные цифры свидетельствуют о том, что увеличение потребления энергии и её мощности в большей степени связано с изменением уровня жизни каждого человека.

Одними из ключевых энергетических проблем цивилизации, обуславливающих данную тенденцию, являются [6]:

- дефицит основных источников энергии, вызванный их исчерпаемостью и неравномерным распределением по планете;
- ухудшение экологической обстановки;
- постоянные конфликты за ограниченные ресурсы.

Обозначенная удельная мощность (около 2,6 кВт/чел) направлена на:

- непосредственное повышение качества, комфорта и безопасности функционирования цивилизации (производство пищи для людей и домашних животных; обогрев, охлаждение, вентиляция и освещение жилищ; питание оборудования домашних хозяйств и сферы обслуживания; др.);
- получение промышленной продукции земной технократической цивилизации во всевозрастающем объёме (металлургия, химическое и нефтехимическое производство, машиностроение, строительство, др.);
- избыточное информационное обслуживание населения (светящаяся реклама, ночное освещение городов и дорог; майнинг криптовалют; выпуск и потребление избыточной рекламной продукции, в том числе в сети интернет и мобильной связи; др.).

При этом биологическая составляющая энергетической мощности человека, поступающая с пищей и являющаяся солнечной (как правило, благодаря фотосинтезу в биосфере Земли), – всего около 0,15 кВт/чел [1], что почти в 20 раз меньше фактической удельной энергетической мощности нынешнего населения планеты. Следовательно, оставшиеся 2,45 кВт (в отдельно взятых высокоразвитых странах данная цифра доходит до 10 кВт) – это та часть энергетической мощности, которую в среднем каждый индивидуум должен получать для «построения» современной цивизизации, в том числе основанной на своего рода эксплуатации биосферы техносферой. В связи с этим нахождение баланса (количественного, структурного и др.) в потреблении энергии, позволяющего гармонично развиваться человечеству, представляется актуальной задачей.

Необходимость выработки энергии человечеством для развития современной цивилизации

Развитие цивилизации в настоящее время напрямую зависит от количества используемой (потребляемой) энергии или её среднегодовой душевой мощности. Для людей снижение потребления энергии при неизменных технологиях (η = const, рисунок 1) – это определённый отказ от постоянно растущих потребительских стандартов жизни и потребительских желаний, на что вряд ли пойдёт человечество в ближайшей перспективе.

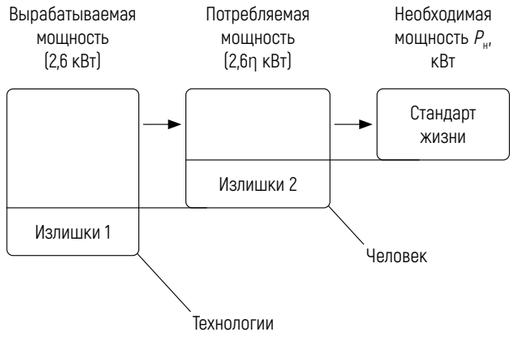


Рисунок 1 – Этапы снижения энергетической мощности для человека: η – КПД преобразований и доставки энергии

По данной причине принципиально важным является повышение эффективности (в первую очередь с точки зрения экологической составляющей) и рациональности потребления вырабатываемых мощностей на каждого человека, выражающееся в снижении излишков, которые имеют место при потреблении энергии людьми.

Для уменьшения чрезмерного воздействия человеческой цивилизации на окружающую среду актуальным видится поиск путей сокращения излишков (вследствие изменения технологий получения и доставки энергии (излишки 1), а также структуры потребления человеком (излишки 2)), что, несомненно, должно сказаться на совершенствовании среднего душевого потребления энергии на планете Земля.

Таким образом, речь идёт в первую очередь о снижении энергопотребления в результате внедрения (рисунок 1):

- энергоэффективных технологий при выработке энергии (левый прямоугольник): повышение КПД электростанций, минимизация издержек на транспортировку топлива и сырья для его получения, переход на иное топливо, др.;
- энергоэффективных технологий потребления энергии (центральный прямоугольник): снижение затрат на транспортировку энергии за счёт рационального расселения людей и концентрации энергоёмких производств вблизи источников энергии, др.;
- новых стандартов жизни, основанных на эффективном использовании энергии каждым человеком (правый прямоугольник), при этом потребление энергии должно стать результатом творчества, а не наоборот.

На сегодняшний день определённые предпосылки и продвижение в данном направлении уже отмечаются [7] благодаря развитию инновационных технологий в части получения, транспортировки и использования энергии. Вместе с тем они нуждаются в дальнейшем совершенствовании. Одним из принципиально важных инструментов достижения указанной цели является поэтапный вынос наиболее опасной составляющей земной индустрии за пределы планеты, на что и обращено особое внимание в настоящей работе.

Представленные инструменты необходимо применять в разрезе одновременного повышения уровня и качества жизни каждого человека путём реализации стандартов нового поколения, основанных не на культе потребления, а на новых философских и духовно-нравственных аспектах и бережливом отношении к ограниченным земным ресурсам.

Оценка мирового потребления энергии и энергетических ресурсов

В настоящее время в мировом потреблении энергии (по итогам 2022 г. – 160 764 ТВт·ч, или 20 227 кВт·ч в расчёте на душу населения) в подавляющем большинстве преобла- дают ископаемые виды углеводородного топлива (уголь, нефть и газ) с долей более 80 % в общем объёме потребления энергии человечеством. В то же время на долю возобновляемых источников энергии (ВИЭ) на примере солнечной и ветровой энергии приходится менее 10 %.

Структура источников потребления энергии человечеством по итогам 2022 г. приведенана рисунке 2.

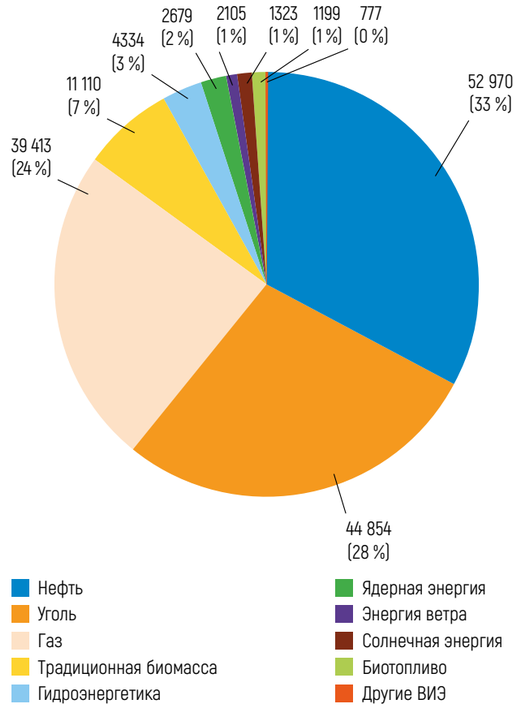


Рисунок 2 – Структура источников потребления энергии человечеством по итогам 2022 г., ТВт·ч (%) [7]

Нахождение пути оптимизации мирового душевого потребления энергии неразрывно связано с пониманием направлений использования указанной на рисунке 2 энергии.

Представим выработку и основное потребление энергии в виде схемы (рисунок 3).

С одной стороны, согласно оценкам экспертов [8], к 2050 г. прогнозируется изменение диспропорции ископаемых видов топлива и ВИЭ в сторону уравновешивания. В настоящей статье учитывается данное допущение. Вместе с тем переход на ВИЭ в столь значимых объёмах возможен лишь при условии широкомасштабного освоения космоса и вынесения туда экологически вредной части земной индустрии [9].

С другой стороны, к 2050 г. в базовом сценарии ожидается увеличение мирового потребления энергии более чем на 40 % [10]. С учётом прогноза мировой численности населения (около 10 млрд человек к 2050 г. [11, 12]) к этому времени предполагается среднедушевое потребление энергии 24 000 кВт·ч/год, что соответствует среднедушевой мощности 2,74 кВт/чел.

Таким образом, первым из инструментов по оптимизации мирового душевого потребления энергии на планете, предлагаемым и исследуемым авторами, является использование энергосберегающих технологий и ВИЭ в базовых отраслях мировой экономики: урбанистике, транспорте, энергетике, сельском хозяйстве.

Оптимизация мирового душевого потребления энергии на основе применения энергосберегающих технологий и ВИЭ

В результате проведённого анализа источников научной информации, перечисленных в настоящей работе, выявлено, что наиболее полно, обоснованно и комплексно рассматриваемые процессы представлены в доктрине инженера А.Э. Юницкого по перезагрузке экономики на биосферный путь цивилизационного развития, в первую очередь направленный на глубинную трансформацию базовых отраслей мировой экономики [1, 9]. Указанный глобальный комплексный подход включает в себя биосферные инженерные технологии, продемонстрированные на рисунке 4.

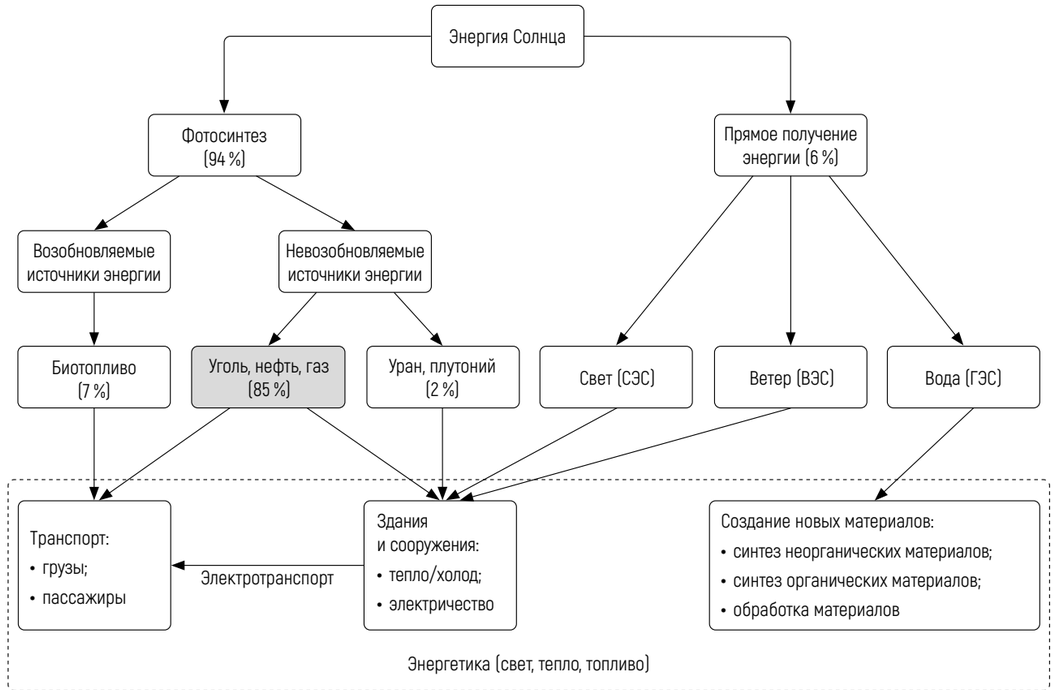


Рисунок 3 – Структура основной выработки и распределения энергии для техносферы на Земле

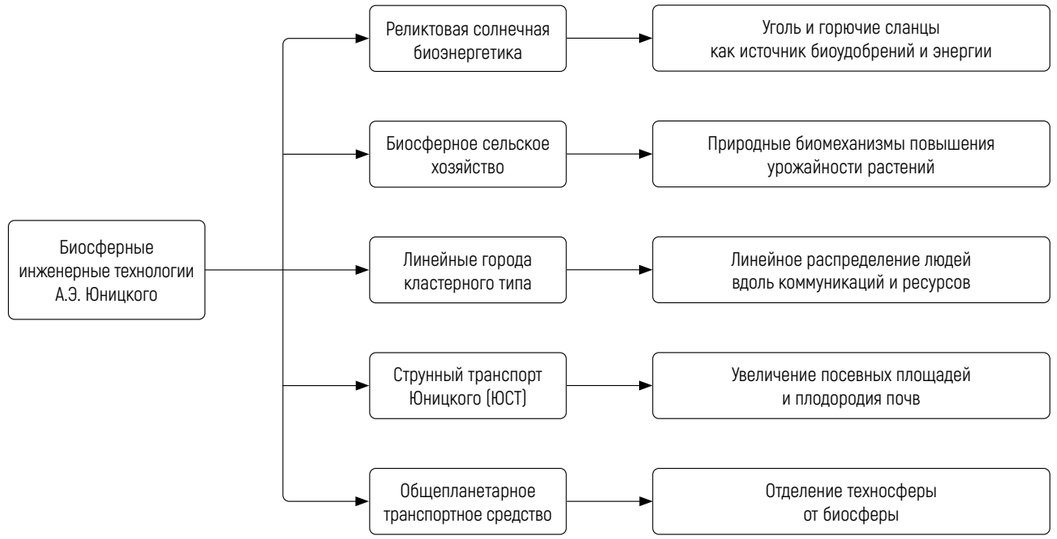


Рисунок 4 – Классификация биосферных инженерных технологий А.Э. Юницкого

В рамках настоящего исследования каждое из данных направлений не рассматривается подробно, так как уже в комплексе изучено, научно доказано и представлено в трудах А.Э. Юницкого. Вместе с тем необходимо обратить внимание на ряд аспектов.

Повышение эффективности использования энергии при выборе вида топлива

Согласно данным, приведённым на рисунке 2, один из основных источников выработки энергии в мире – уголь (около 28 %), преимущественно энергетический, как менее зольный, который сегодня является самым экологически вредным видом топлива. Современные технологии сжигания угля можно сравнить с применением нефти в двигателях внутреннего сгорания вместо бензина или дизельного топлива, когда ещё большее количество различных химических элементов и их токсичных соединений в выхлопных газах будут ещё интенсивнее загрязнять воздух, почву и воду. Значит, важно в масштабах планеты развивать технологии, позволяющие из угля получать топливо, при сжигании которого не будет происходить загрязнение биосферы Земли (аналогично переходу от нефти к биотопливу), например переработку угля в водоугольное топливо (ВУТ) и дальнейшее его массовое использование, что отражено в [13].

Наиболее перспективными в данной сфере являются страны с высокой долей задействования угля в топливно-энергетическом комплексе (Россия, Китай, Казахстан, Польша, Индия). Технология сжигания ВУТ может применяться как самостоятельно на новых объектах энергетики, так и совместно с другими видами топлива в рамках реконструкции и модернизации уже существующих.

В таблице 1 представлена информация о наиболее распространённых на Земле накопителях энергии для транспорта.

Как видно, с точки зрения объёма наибольшей теплотворной способностью обладают керосин и дизельное топливо, чем и объясняется их широкая востребованность в транспортной сфере. Однако данное топливо получается путём использования невозобновляемого ресурса – нефти, что не позволяет рассматривать его в качестве перспективного источника энергии. Это же касается и газового топлива, хранение которого в жидкой фазе связано с дополнительными затратами.

Весьма перспективным видится применение древесного угля и этилового спирта в виде топлива (биотоплива) из различного растительного сырья. Они хотя и незначительно уступают по удельной энергоёмкости керосину, но производятся из ВИЭ (в том числе при переработке различных отходов биологического происхождения [14]).

Таблица 1 – Сравнительная характеристика распространённых накопителей энергии для транспорта

Накопитель энергии для транспорта	Теплотворная способность		Условие для транспортировки на Земле
	МДж/кг	МДж/м³	
Бутан (C_4H_{10}), μ = 58,1 г/моль	47,29[1]	114,27[2]	Нормальные условия
		118,53[3]	Жидкая фаза (–0,5 °С)
		23 940	Под давлением 20 МПа
Пропан (C_3H_8), μ = 44,1 г/моль	47,2[1]	86,53[2]	Нормальные условия
		91,14[3]	Жидкая фаза (–42,1 °С)
		18 500	Под давлением 20 МПа
Этан (C_2H_6), μ = 30,1 г/моль	47,87[1]	59,85[2]	Нормальные условия
		63,35[3]	Жидкая фаза (–88,6 °С)
		16 730	Под давлением 20 МПа
Метан (CH_4), μ = 16 г/моль	50,09[1]	33,41[2]	Нормальные условия
		35,76[3]	Жидкая фаза (–161 °С)
		7400	Под давлением 20 МПа
Водород (H_2), μ = 2 г/моль	128,87[1]	10,8[4]	Нормальные условия
		10 070	Жидкая фаза (–273 °С)
		8100	Под давлением 70 МПа
Для сравнения			
Бензин	43,6[5]	32 625[8]	Нормальные условия
Дизтопливо	43,4[5]	36 022[9]	
Керосин	43,7[5]	36 576[10]	
Уголь каменный	>24[6]	>19 200[11]	
Пеллеты из древесины	>16,5[7]	>9900[12]	
Уголь древесный	33,8[5]	27 040[11]	
Спирт этиловый (C_2H_5OH)	30,5[5]	24 705[13]	Согласно ГОСТ 31369-2021
Литий	4,5	2412	Твёрдая фаза
Li-ion-батареи	0,63	1714	Твёрдая фаза

Примечания.

1. Пересчёт по плотности (ГОСТ 30319.2-2015).
2. ГОСТ 31369-2021, таблица 2.
3. Артихович, В.В. Сжиженные углеводородные газы: учеб.-метод. пособие / В.В. Артихович, М.Г. Пшоник. – Минск: БНТУ, 2010. – 220 с.
4. ГОСТ 3022-80.
5. ТКП 130-2008, таблицы Б1, В1.
6. ГОСТ 25543-2013.
7. ГОСТ 33103.2-2017.
8. Пересчёт по плотности (ТУ BY 400051902.022-2019).
9. Пересчёт по плотности (СТБ 1658-2015).
10. Пересчёт по плотности (ТУ BY 400091131.005-2009).
11. Плотность насыпного угля 800 кг/м³.
12. Пересчёт по насыпной плотности (ГОСТ 33103.2-2017).
13. Пересчёт по плотности при 98 % (ФС.2.1.0036.15).

Сравнительный анализ констатирует, что Земля сама определила элемент, наиболее подходящий для условий биосферы в качестве аккумулятора энергии, – углерод, который также задействуется как биологический строительный материал, образуя при этом самый прочный минерал на Земле – алмаз. Этот вывод подтверждается и данными таблицы 1: энергоёмкость бутана выше энергоёмкости метана и этана с меньшим удельным содержанием углерода в составе.

Несмотря на то что большая часть электроэнергии всё ещё производится за счёт сжигания ископаемых источников (в основном – уголь, природный газ), доля ВИЭ неуклонно растёт в последние десятилетия. Так, начиная с 2007 г. прослеживается тенденция снижения выработки электроэнергии за счёт ископаемого топлива – с 68,32 % в 2007 г. до 60,65 % в 2023 г., а также за счёт атомных электростанций – с 13,71 % в 2007 г. до 9,11 % в 2023 г. (надо отметить, что подобная тенденция в атомной энергетике наблюдается с 2002 г.). В то же время доля выработки за счёт ВИЭ выросла с 17,96 % в 2007 г. до 30,24 % в 2023 г., и тренд восходящий [15], что в первую очередь связано с отказом развитых стран Европы от использования невозобновляемых источников энергии в виде недорогого российского газа и африканского урана. Благодаря этому «зелёная» энергетика из дотируемой государством инициативы борьбы с глобальным потеплением переросла в рентабельный бизнес с понятными и приемлемыми сроками окупаемости вложенных инвестиций.

На сегодняшний день ВИЭ предлагается рассматривать уже в качестве локальной генерации энергии для мест, где данный вид энергии содержится в максимальном количестве (солнечная, ветровая, речная, морская, геотермальная). Это позволит снизить затраты на транспортировку энергии от ВИЭ, поскольку увеличение доли её использования имеет ряд трудностей, связанных со значительными негативными последствиями воздействия техносферы на окружающую среду (рост добычи железа, меди, алюминия, никеля, кобальта, лития, редкоземельных металлов, а также утилизация различных отходов) [16]. Указанные проблемы ещё предстоит преодолеть.

Повышение эффективности использования энергии на транспорте

Применение трубопроводного транспорта обусловит минимизацию издержек на транспортировку ВУТ по сравнению с железнодорожным и автомобильным, что в конечном счёте повлияет на результирующее снижение мощностей в первую очередь на доставку угля (например, 60 % стоимости кузбасского угля в Китае – транспортные расходы).

Кроме того, около 30 % всей потребляемой энергии приходится на транспорт [17]. Ключевым источником энергии для него уже более 100 лет является нефть (79 % потребления транспортом [18]). При этом её доля в общей энергетике техносферы составляет 1/3 [19, 20].

Учитывая, что выход автотранспортного топлива (бензин, дизель) из нефти в среднем достигает 75 % (при годовой добыче нефти в 2023 г. – 5,95 трлн л), а также что наземный транспорт на основании [21] занимает 28 % грузовых перевозок (110 млрд тонн грузов в год) и 82 % пассажирских (1 трлн пассажиров в год), такой транспорт в настоящее время потребляет в год следующее количество топлива:

$$V = 5{,}95 \times 10^{12} \times 0{,}75 \times 0{,}79 \times (0{,}28 \times 110 + 0{,}82 \times 100) / (110 + 100) = 1{,}9 \text{ трлн л, или } 238 \text{ л в год на человека.}$$

Согласно методике, представленной в [22], в зависимости от вида транспорта удельная энергия на перевозку пассажиров и грузов варьируется от 0,06 до 0,7 кВт·ч/(т·км). Применение передовых технологий на транспорте, например решений ЮСТ (в том числе и в космическом пространстве), позволит существенно повысить энергоэффективность земной (и геокосмической) логистики [23]. Так, снижение в два раза данного показателя (путём минимизации затрат на сопротивление движению, повышения КПД за счёт преобразования энергии топлива в механическую энергию, а также улучшения качества используемого топлива) даст возможность сэкономить до 1 трлн л моторного топлива, или 10×10^{12} кВт·ч энергии, что эквивалентно уменьшению среднегодовой мощности на $1{,}14 \times 10^9$ кВт, или 0,14 кВт/чел.

Повышение эффективности использования энергии при эксплуатации зданий и сооружений

Сокращение энергопотребления при эксплуатации зданий и сооружений в основном связано с уменьшением затрат на тепловую и электрическую энергию, необходимую для отопления, кондиционирования и освещения (внутреннего и наружного).

В настоящее время в области энергосбережения зданий и сооружений существует большое количество концепций, предлагаемых учёными [24]. Анализ информации

показал, что представленные решения для лучшего понимания уместно структурировать в блоки (рисунок 5).

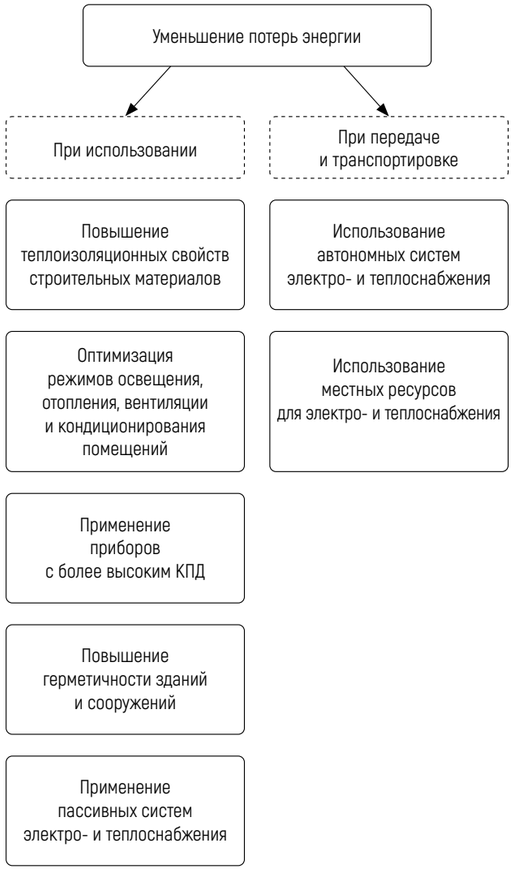


Рисунок 5 – Энергосберегающие решения при эксплуатации зданий и сооружений

Указанные на рисунке 5 направления уменьшения потерь энергии в зданиях и сооружениях на сегодняшний день развиваются во многих странах мира. Однако общий вывод, который можно сделать, указывает на косвенную экономию. Любая экономия энергии связана с затратами на использование более энергоёмких материалов (например, алюминия и меди), что не способствует суммарному снижению мощности энергопотребления. Здесь предлагается обратить внимание на биосферные механизмы энергосбережения (например, изучая опыт пчёл, муравьёв и др.), что может стать темой следующих работ.

Повышение эффективности использования энергии при создании материалов

Развитие техносферы непрерывно связано с получением материалов (в том числе искусственным путём), их обработкой и утилизацией. Ожидается, что годовое потребление ресурсов к 2050 г. составит около 13,6 т/чел [10]. В 2010 г. на производство материалов в среднем уходило около 25 % всей энергии Земли [2]. При сохранении такой пропорции к 2050 г. из 2,74 кВт (прогнозируемая величина удельной энергетической мощности человечества) на указанный процесс будет расходоваться до 0,68 кВт.

В таблице 2 на основании [25] приведены сведения по затратам энергии на создание конструкционных материалов.

Таблица 2 – Затраты энергии на создание материалов

Материал	Энергия, ГДж/т
Древесина:	
• необработанная	0,5
• строганая	3,5
• клеёная	5–12
ДСП	3–7
Фанера	7–15
Природный камень	0,5–2
Цемент	3,5
Стекло	7
Сталь:	
• из руды	26
• из металлолома	6
Алюминий	175
Пластмасса:	
• из обычного сырья	50–116
• из отходов	25–45

Исходя из данных таблицы 2, можно сделать вывод о том, что вторичная переработка позволяет минимизировать количество энергии на получение материалов, поскольку задействованное сырьё уже включает в себя часть затраченной ранее энергии. При этом имеется возможность снижения энергоёмкости в процессе создания материалов и конструкций из них за счёт:

- вторичной переработки;
- совершенствования технологий производства;
- сокращения доли энергоёмких материалов (алюминий, ПЭТ и др.) с повышением доли природных материалов, при получении которых используются «фабрики» биосферы, а не искусственно созданные энергозатратные предприятия техносферы;
- уменьшения расхода конструкционных материалов благодаря оптимизации конструкций зданий и сооружений, дорог, транспортных средств, оборудования, узлов и деталей во всех отраслях мировой экономики.

Например, использование в конструкции транспортных эстакад предварительного напряжения и струнных рельсов снизило расход материалов (сталь, железобетон, бетон) примерно в 7–10 раз по сравнению с традиционными эстакадами. В то же время оптимизация подвижного состава ЮСТ – беспилотных рельсовых электромобилей на стальных колёсах – повысила энергоэффективность перевозок в 3–5 раз.

При производстве материалов нужно в первую очередь задействовать «предприятия» и возможности биосферы, что благодаря естественным природным механизмам создаст основной полуфабрикат для дальнейшего применения в различных объектах. Можно обратить внимание на опыт скандинавских стран, максимально использующих местное сырьё (древесину) в строительстве и энергетике. В противном случае следование общим стандартам строительства на Земле будет непременно вести к переизбытку потребления энергии, необходимой для получения и транспортировки различных материалов.

Оптимизация душевого потребления энергии путём поэтапного выноса наиболее опасной части земной индустрии за пределы биосферы

Инженер и человечество в целом должны быть ориентированы на использование на Земле биосферных «фабрик», при этом чисто техносферные (антибиосферные) предприятия следует размещать вне биосферы – в ближнем космосе, с формированием космической техносферы. В некоторой степени дополнением к перемещению вредных (техносферных) производств станет их перенос глубоко под землю (подземная техносфера). Как показывает мировая практика создания подземных бункеров, минигородов, развития горнодобывающей промышленности, рудников и подобных объектов, данный инструмент может быть дееспособным.

Механизм «биосфера – техносфера» на примере ЮСТ представлен на рисунке 6.

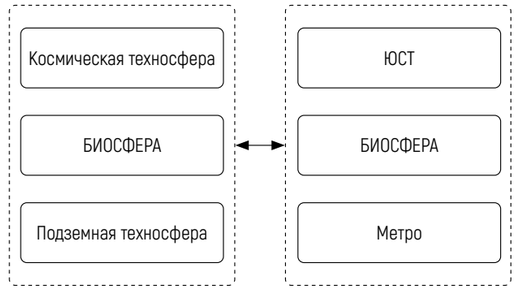


Рисунок 6 – Механизм «биосфера – техносфера» на примере ЮСТ

Таким образом, техносферу следует разделить на космическую и экологически безопасную земную (в том числе подземную). По мере развития технологий (переработка сырья, производство товаров и услуг, совершенствование транспортно-инфраструктурных решений и др.) доля космической части техносферы будет увеличиваться. При этом подземная техносфера решит технологические проблемы лишь частично, так как под землёй нет готовых к промышленному применению больших полостей, а выемка значительных объёмов грунта для их образования и перемещение его на поверхность земли нанесёт ущерб биосфере.

Кроме того, под землёй отсутствуют такие высокоэффективные технологические ресурсы, как невесомость и глубокий вакуум, имеющиеся в неограниченных объёмах в ближнем космосе. Подземные объекты будут более материалоёмкими и дорогостоящими вследствие существенных нагрузок от грунта и подземных вод. Подобные производства проще и результативнее разместить на поверхности земли: они могут быть обвалованы грунтом, а почва из-под фундаментов цехов перенесена на второй уровень (например, на плоскую крышу) и обогащена биогумусом (от 2 %), созданным из угля и канализационных стоков.

Там будут посажены сады, даже если вокруг будет пустыня. Производства, изолированные от биосферы, увеличат не только площадь сельхозугодий на планете, но и их продуктивность. Нынешних пустынь, не используемых в биосферных процессах и получении органической пищи, с избытком хватит для размещения земной части техносферы, даже если население Земли достигнет 20–30 млрд человек [1, 9].

Данная информация схематически изображена на рисунке 7, который показывает, что транспортировка ресурсов требует энергии на движение товаров и сырья не только внутри техносферы, но и между техносферой и биосферой Земли.

В рамках настоящего исследования главный акцент сделан на таком инструменте оптимизации душевого потребления энергии, как вынос наиболее опасной части индустрии за пределы Земли путём внедрения технологии освоения космоса с помощью ОТС.

Согласно [26] и предложенной авторской методике среди отраслей обрабатывающей промышленности первоочередными для создания в космосе представляются металлургическая промышленность, производство химических веществ и химических продуктов, электрооборудования. В добывающей промышленности такой отраслью выступает добыча металлических руд.

В результате наиболее целесообразным и логичным инженерно-техническим решением, позволяющим осуществить столь масштабное создание (перенос) производств за пределами Земли и их последующее функционирование, является строительство и запуск ОТС [27].

Этапы освоения околоземного пространства на основе использования ОТС [28]:

- подготовительный (с 2025 по 2045–2050 гг.);
- базисная индустриализация космоса (с 2050 по 2060–2065 гг.);
- широкомасштабная индустриализация космоса (с 2065 г.).

Таким образом, энергетические мощности, которые необходимы для выпуска наиболее энергоёмкой промышленной продукции (металлургия, химическое производство, машиностроение, иное) и которые на планете постоянно растут по мере увеличения индустриальной (технократической) части цивилизации и численности населения, будут постепенно создаваться за пределами планеты. Часть земной индустрии, представляющая собой самую серьёзную опасность для биосферы, со временем будет перенесена в космос.

При этом авторами настоящего исследования не ставится задача сократить на *n* процентов или в *n* раз душевое потребление энергии в масштабах всего человечества. Аналогично и в рамках поэтапного переноса в космос с помощью ОТС наиболее вредных на планете производств (обрабатывающая и добывающая промышленность) в целом потребление человеком энергии и земных благ (например, к 2065 г. – этапу широкомасштабной индустриализации космоса) может не уменьшиться по сравнению с нынешними значением – 2,6 кВт/чел. Однако, что самое важное, производство энергии, изготовление соответствующей энергоёмкой продукции, выбросы вредных веществ и их утилизация будут осуществляться не на планете Земля, а за её пределами.

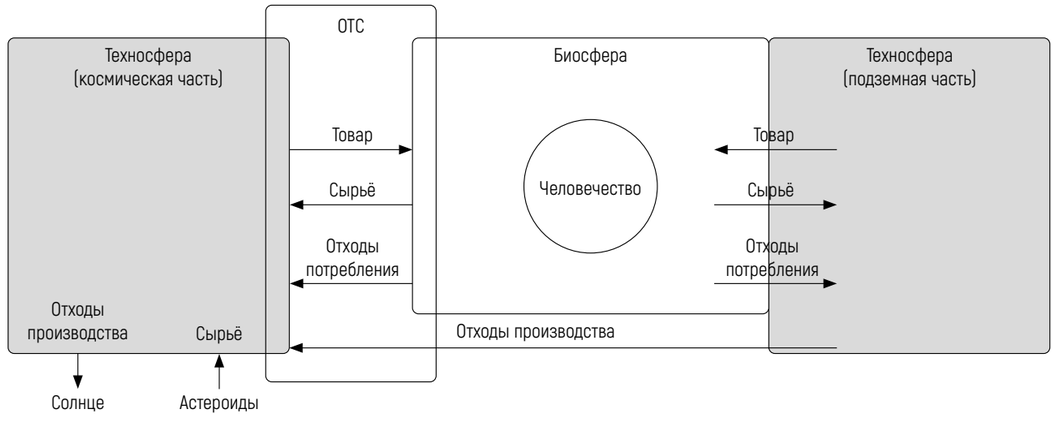


Рисунок 7 – Схема обмена ресурсами между техносферой и биосферой Земли

Оптимизация потребления энергии человеком на основе реализации жизненных стандартов нового поколения

Способен ли человек-потребитель освоить космос?

В глобальном капиталистическом мире человек рассматривается в качестве потребителя [6], постоянно стремящегося повысить свой стандарт жизни (рисунок 1). Это ведёт к росту потребления энергии каждым индивидуумом независимо от технологий её выработки и доставки.

Однако данный механизм способен успешно функционировать длительный период в условиях применения замкнутых циклов производства и утилизации товаров техносферы, т. е. при использовании безотходных или малоотходных технологий, с воздействием которых биосфера способна безопасно справиться самостоятельно. Поскольку сегодня это слабо реализуемо, потребление продуктов техносферы ведёт к формированию невостребованных отходов и уничтожению биосферы, что мы и наблюдаем. Так, до 35 % продуктов, которые приобретает человек, выбрасывается на свалки [29].

Поведение современных людей направлено на стремление получить товаров и услуг больше, чем необходимо. Кроме того, сюда следует отнести механизм самоутверждения индивидуума в социуме («Круче тот, у кого много желаемых ресурсов!»), что в конечном счёте выражается культом потребления. Следовательно, нужно ответить на главный вопрос: хотим ли мы, чтобы человек стал лишь инструментом поглощения техносферой биосферы Земли?

В настоящее время просматривается явное «развитие» Земли по негативному сценарию (рисунок 8).

Техносфера предоставила человеку блага, давшие возможность ему возвыситься над природой и, как результат, дольше жить, быстрее перемещаться, больше общаться, предельно оперативно и в полном многообразии получать желаемые товары (услуги), в том числе путём нажатия нескольких кнопок суперновых смартфонов. Техносфера заслужила доверие человека. Вместе с тем ей нельзя позволить превратить его в своего раба и в конечном счёте уничтожить цивилизационный социум – человечество (негативный сценарий).

Необходим позитивный цивилизационный сценарий: человек должен подчинить себе техносферу как её создатель, а не техносфера должна поработить его. Для этого нужно, чтобы проживающее на Земле человечество имело жизненные стандарты нового поколения и высокую ответственность перед биосферой. Каждый индивидуум должен стать социально ориентированным человеком, а не превратиться в животное со свойственными ему инстинктами, на что сейчас и делается акцент в обществе потребления.

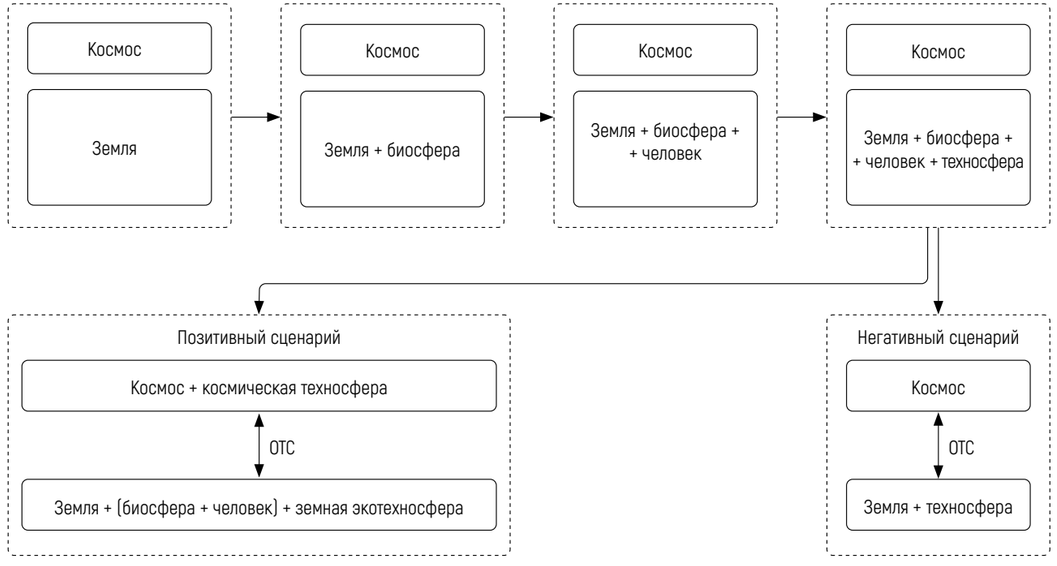


Рисунок 8 – Этапы преобразования Земли

Сейчас в земной биосфере сконцентрированы природные «фабрики», которые не нужно строить, следует только научиться ими пользоваться. Это является одним из главных направлений развития современной науки и жизненных укладов человека. С целью снижения среднедушевого потребления энергии предлагается рассмотреть возможность перехода на концепцию нового отношения человека к потреблению (рисунок 9).

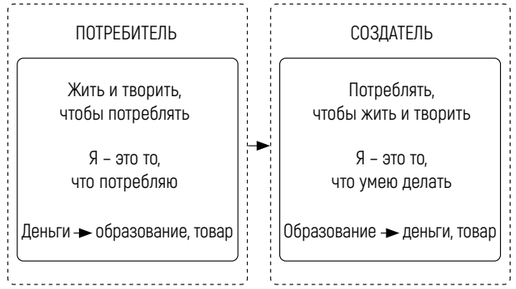


Рисунок 9 – Концепция нового подхода человека к потреблению

Совокупность предлагаемых авторами решений в рамках реализации концепции повышения уровня и качества жизни каждого человека заключается в следующем:

• развитие в первую очередь творчества, а не потребления, т. е. центром притяжения людей должны стать совершенствующие творческие способности индивидуума школы, вокруг которых могут образовываться торговые объекты, а не наоборот. Показывать нужно человека, который сделал, организовал или создал что-то новое, прогрессивное, а не розничный товар, за которым виден его потребитель, а не его создатель. Это же будет обуславливать рост качества товаров и услуг и в результате позволит развивать в человеке культ творца (дав ему тем самым свободу), а не потребителя (рабство), что отразится на снижении излишков потребляемой энергетической мощности;

• максимальное использование биосферных «заводов» для производства и доставки товаров потребителям, т. е. развитие ключевых отраслей экономики в первую очередь за счёт применения биосферных технологий, основанных на минимальном вмешательстве в естественные природные процессы и не загрязняющих окружающую среду (широкомасштабное задействование в энергетике бурых углей с их переработкой в плодородный гумус; преобразование канализационных стоков в биогумус [30]; постепенный перенос транспортных коммуникаций на второй уровень);

• создание технологий (в том числе транспортных), способствующих более равномерному расселению людей на Земле, что перераспределит транспортно-инфраструктурные и иные потоки, повысит эффективность доставки энергии, продуктов и ресурсов, а также улучшит ресурсный потенциал отдельных регионов;

• развитие и внедрение передовых технологий замкнутого цикла потребительских товаров;

• инновационное и широкомасштабное решение вопросов утилизации Li-ion-батарей, ядерных отходов, отходов добывающей и тяжёлой промышленности;

• введение в детских садах и школах обучающих программ по грамотному обращению с ресурсами и отходами, массовое развитие на государственном уровне в образовательной сфере (от детских садов до учреждений высшего и послевузовского образования) стимулирующих и административно-идеологических мероприятий, просветительских методов в данной области (на примере Швеции – мирового лидера по переработке твёрдых бытовых отходов в энергию, где уже многие годы в детских садах введён такой предмет, как утилизация мусора) [31];

• формирование у каждого индивидуума культуры осознанного потребления (контроль производства и потребления продуктов питания, одежды, электроэнергии и воды, сокращение отходов, сортировка и переработка мусора и др.) [32].

Заключение

В проведённом исследовании авторами предложены следующие научно проработанные комплексные меры по оптимизации текущего мирового душевого потребления энергии (около 2,6 кВт/чел):

• повышение эффективности использования энергии на основе дальнейшего массового применения ВУТ (в первую очередь для стран с высокой долей задействования угля в топливо-энергетическом комплексе, включая Россию), древесного угля и этилового спирта в качестве топлива (биотоплива), а также ВИЭ;

• совершенствование транспортной отрасли посредством массового внедрения транспортных технологий «второго уровня» (главным образом на примере ЮСТ), а также применения трубопроводного транспорта для доставки ВУТ ввиду экономической целесообразности;

• повышение эффективности использования энергии при эксплуатации зданий и сооружений, а также при производстве материалов (путём их вторичной переработки, снижения доли энергоёмких материалов (алюминий, ПЭТ и др.) с повышением доли природных биосферных);

• поэтапный (до 2065 г.) вынос наиболее опасной части земной индустрии за пределы Земли посредством строительства геокосмического транспорта (ОТС) и соответствующей инфраструктуры;

• повышение уровня и качества жизни каждого человека на основе реализации жизненных стандартов нового поколения, базирующихся на подчинении техносферы человеком (а не наоборот), обучение рациональному использованию биосферных ресурсов и трансформация человека-потребителя в творца-созидателя.

Элементами научной новизны представленного исследования являются:

• аргументация необходимости не только применения технологий для повышения эффективности использования энергии человечеством, но и изменения поведения самого человека, отвечающего за свою деятельность (в частности, при позиционировании товара и услуги в первую очередь следует указывать информацию о главном разработчике);

• обоснование применения топлива в качестве накопителя энергии;

• результаты проведённого анализа снижения потребности в энергии за счёт инновационных транспортно-инфраструктурных решений и производства энергоэффективных материалов;

• разделение техносферы на две составляющие: космическую и подземную (с их рациональным использованием во благо человечества);

• разработка технологий максимального задействования биосферных «заводов» при создании человеком товаров и услуг.

Таким образом, авторами настоящего исследования оптимизация душевого потребления энергии на Земле не сведена к попыткам существенного снижения текущего уровня её потребления в масштабах человечества, а базируется на более рациональном её получении и использовании (в том числе путём производства и утилизации за пределами планеты) благодаря совокупности представленных мер.

Рассмотренная проблематика является глобальной и крайне актуальной для современных вызовов человечества, в связи с чем будет развита, исследована и представлена в последующих научных трудах авторов.

Список основных источников

1. *Юницкий, А.Э. Инженерия. Мир как инженерный проект / Анатолий Юницкий. – Минск: СтройМедиаПроект, 2023. – 320 с.*
2. *Информирование населения как инструмент развития атомной отрасли / Н.В. Горин [и др.] // Государственное управление. Электронный вестник. – 2021. – № 85. – С. 6–24.*
3. *Countries and Economies [Electronic resource]. – Mode of access: https://data.worldbank.org/country/. – Date of access: 20.05.2024.*
4. *Total Energy Consumption [Electronic resource]. – Mode of access: https://energystats.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html. – Date of access: 31.05.2024.*
5. *Население Земли [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://countrymeters.info/ru/. – Дата доступа: 31.05.2024.*
6. *Афанасьева, Е.А. Основные проблемы энергетики и возможные способы их решения / Е.А. Афанасьева, М.Д. Кислякова // Молодой учёный. – 2017. – № 40 (174). – С. 1–4.*
7. *Global Direct Primary Energy Consumption [Electronic resource]. – Mode of access: https://ourworldindata.org/grapher/global-primary-energy. – Date of access: 20.05.2024.*
8. *Федун, Л. Перспективы развития мировой и российской энергетики: сценарии до 2050 года / Л. Федун, А. Сонин // Энергетическая политика. – 2022. – № 1 (167). – С. 6–19.*
9. *Юницкий, А.Э. Программа перезагрузки экономики Союзного государства России и Беларуси на биосферный путь цивилизационного развития / А.Э. Юницкий. – Минск, 2022. – 208 с.*
10. *EIA Projects Nearly 50 % Increase in World Energy Use by 2050, Led by Growth in Renewables [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=49876. – Date of access: 15.05.2024.*
11. *Global Issues: Population [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.un.org/en/global-issues/population. – Date of access: 15.05.2024.*
12. *Куренкова, Я. Демограф назвал потолок населения на Земле и объяснил, хватит ли ресурсов и еды на всех [Электронный ресурс] / Я. Куренкова. – Режим доступа: https://dailystorm.ru/news/demograf-nazval-potolok-naseleniya-na-zemle-i-obyasnil-hvatit-li-resursov-na-tochtoby-ego-prokormit. – Дата доступа: 19.05.2024.*

13. *Юницкий, А.Э. Энерготехнологический комплекс как решение экологических проблем электростанций на твёрдом топливе / А.Э. Юницкий, В.В. Янчук / Сахаровские чтения 2022 года: экологические проблемы XXI века: материалы 22-й междунар. науч. конф., Минск, 19–20 мая 2022 г.: в 2 ч. / Междунар. гос. эколог. ин-т им. А.Д. Сахарова. – Минск: ИВЦ Минфина, 2022. – Ч. 2. – С. 325–328.*
14. *Юницкий, А.Э. Пищевая солнечная биоэнергетика / А.Э. Юницкий, В.В. Василевич // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы IV междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 18 сент. 2021 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2023. – С. 358–371.*
15. *Electricity Mix [Electronic resource]. – Mode of access: https://ourworldindata.org/electricity-mix. – Date of access: 17.06.2024.*
16. *Адаменко, К.Т. Экологичны ли электромобили? [Электронный ресурс] / К.Т. Адаменко, А.Р. Мотыгуллина, М.В. Колистратов. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/ekologichny-li-elektromobili. – Дата доступа: 17.06.2024.*
17. *Эдер, Л.В. Прогнозирование потребления энергии легковым автомобильным транспортом / Л.В. Эдер, В.Ю. Немов // Проблемы прогнозирования. – 2017. – № 4 (163). – С. 83–93.*
18. *Цилибина, В. Нефтеёмкость ВВП. Тенденции [Электронный ресурс] / В. Цилибина. – Режим доступа: https://belchemoil.by/news/analitika/nefteemkost-vvp.-tendencii. – Дата доступа: 31.05.2024.*
19. *Бутко, В.Н. Перспективы развития мировой энергетики / В.Н. Бутко // Вестник науки Костанайского социально-технического университета имени академика З. Алдамжар. – 2012. – № 4. – С. 73–83.*
20. *К 2050 году доля углеводородов в мировом энергобалансе сократится на 20 процентных пунктов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://nangs.org/news/markets/k-2050-godu-dolya-uglevodorodov-v-mirovom-energobalanse-sokratitsya-na-20-protsentnykh-punktov. – Дата доступа: 31.05.2024.*
21. *Владимиров, С.А. О ключевых направлениях развития мировой транспортной системы и логистики / С.А. Владимиров // Таврический научный обозреватель. – 2016. – № 2 (7). – С. 14–21.*
22. *Юницкий, А.Э. Обоснование использования транспортных решений Unitsky String Technologies в Кузбасском регионе / А.Э. Юницкий, В.Н. Гаранин // Актуальные проблемы транспорта в XXI веке: тр. III междунар. науч.-практ. конф., Новокузнецк, 2024 г. / СибГИУ; под общ. ред. О.В. Князькиной. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2024. – С. 37–44.*
23. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Минск: Беларус. навука, 2017. – 342 с.: ил.*
24. *Паук, Ю.Ю. Энергосберегающие технологии в современном строительстве [Электронный ресурс] / Ю.Ю. Паук. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/energosberegayuschie-tehnologii-v-sovremennom-stroitelstve. – Дата доступа: 17.06.2024.*
25. *Энергозатраты на производство материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://festivalnauki.ru/media/articles/klub/energozatraty-na-proizvodstvo-materialov/. – Дата доступа: 01.05.2024.*
26. *Создание производств в ближнем космосе (на примере отраслей добывающей и обрабатывающей промышленности) / А.Э. Юницкий [и др.] // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы V междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 23–24 сент. 2022 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2023. – С. 108–119.*
27. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.*
28. *Юницкий, А.Э. Программа «ЭкоМир»: безракетная индустриализация ближнего космоса / А.Э. Юницкий // Космический вектор цивилизационного развития / А.Э. Юницкий. – Минск: СтройМедиаПроект, 2023. – С. 288–323.*
29. *Шабанова, М.А. Выбрасывание продуктов и практики по «спасению еды» в России (микроуровень анализа) / М.А. Шабанова // Экономическая социология. – 2022. – Т. 23, № 1. – С. 11–38.*
30. *Unitsky, A.E. The Use of Sewage to Restore Soil Fertility / A.E Unitsky, R.A. Malakhov // Scientific Research of the SCO Countries: Synergy and Integration: Proceedings of the International Conference, Beijing, 9 Aug., 2023. – Beijing: Sci. Publ. House Infinity, 2023. – P. 175–183.*
31. *Черныщов, В.И. Обращения с твёрдыми бытовыми отходами в Швеции / В.И. Черныщов, Д.В. Рей Санчес // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2016. – № 1-1. – С. 199–201.*
32. *Завгородняя, А.С. Культура осознанного потребления / А.С. Завгородняя // Цифровая наука. – 2022. – № 2. – С. 33–40.*



УДК 631:632+663:664+661.94+629.7

Перспективы применения электроразрядных технологий при создании замкнутых экосистем

А.Э. Юницкий[1,2]
доктор философии транспорта

С.А. Арнаут[2]
кандидат технических наук

А.А. Литвинчук[2]
кандидат технических наук

[1] ООО «Астроинженерные технологии»,
г. Минск, Беларусь

[2] ЗАО «Струнные технологии»,
г. Минск, Беларусь

Снижение влияния человеческой цивилизации на экологию планеты невозможно без уменьшения количества химических соединений, используемых для удовлетворения потребностей людей. Электроразрядные технологии могут и должны стать одной из альтернатив вредным веществам в различных сферах деятельности.

В статье рассматриваются перспективы применения указанных технологий в производстве продуктов питания, начиная с получения экологически чистых удобрений, подготовки посевного материала, переработки сельскохозяйственного сырья в продукты питания и заканчивая обезвреживанием жидких и твёрдых бытовых отходов, а также их последующим включением в замкнутый цикл производства органических удобрений в «горизонтальных небоскрёбах» линейных городов на Земле и в ЭкоКосмоДомах на орбите.

Ключевые слова:
космическое индустриальное ожерелье «Орбита» (КИО «Орбита»), озон, озоновые технологии, экваториальный линейный город (ЭЛГ), ЭкоКосмоДом (ЭКД), экологически чистые технологии, электрогидравлический эффект, электрогидроудар, электрогидроударная установка, электроразрядные технологии.

UDC 631:632+663:664+661.94+629.7

Prospects of Using Electrical Discharge Technologies in Creation of Enclosed Ecosystems

A. Unitsky[1,2]
Dr. of Philosophy
in Information Technologies
(Transport)

S. Arnaut[2]
Ph.D. in Engineering Sciences

A. Litvinchuk[2]
Ph.D. in Engineering Sciences

[1] Astroengineering Technologies LLC,
Minsk, Belarus

[2] Unitsky String Technologies Inc.,
Minsk, Belarus

The reduction of human civilization's impact on the planet's ecology is impossible without decreasing the amount of chemical compounds used to meet human needs. Electrical discharge technologies can and should become one of the alternatives to harmful substances in various sectors.

This article explores the prospects of these technologies in food production, ranging from the obtaining of environmentally friendly fertilizers and preparation of seed to the processing of agricultural raw materials into final food products and the disposal of liquid and solid household waste, as well as their subsequent inclusion in an enclosed cycle for eco-friendly fertilizers in "horizontal skyscrapers" of linear cities on Earth and in the EcoCosmoHouses in orbit.

Keywords:
EcoCosmoHouse (ECH), electrical discharge technologies, electrohydraulic discharge equipment, electrohydraulic effect, electrohydraulic shock, environmentally friendly technologies, Equatorial Linear City (ELC), Industrial Space Necklace "Orbit" (ISN "Orbit"), ozone, ozone technologies.

Введение

Инженером А.Э. Юницким разработана концепция строительства космического индустриального ожерелья «Орбита» (КИО «Орбита») – многоорбитального транспортно-инфраструктурного и индустриально-жилого комплекса, охватывающего планету в плоскости экватора на высоте 400–500 км. Данный объект предназначен для того, чтобы обслуживать из космического пространства земное человечество: он станет функциональным аналогом экваториального линейного города (ЭЛГ), плацдармом для борьбы с космическими угрозами, в том числе метеоритными, а также технологической платформой для экспансии земной цивилизации в дальний космос [1–3].

В структуре КИО «Орбита» предполагается расположение ЭкоКосмоДомов (ЭКД), представляющих собой замкнутую экосистему биосферного типа, в которой все жители должны иметь сбалансированное питание и качественную питьевую воду [4–7]. В таких условиях остро проявляется необходимость в создании систем с полными циклами самообеспечения людей едой, водой, кислородом и др.

На современном этапе развития технологий человечество решает многие задачи, задействуя различные химические соединения, побочные продукты реакций которых загрязняют окружающую среду и несут угрозу для здоровья людей. Электроразрядные технологии позволяют либо исключить использование таких веществ, либо минимизировать вредные и опасные последствия их применения.

Концепция «горизонтальных небоскрёбов» линейных городов на Земле (в том числе в ЭЛГ) и ЭКД на орбите предусматривает значительную децентрализацию многих производственных процессов и создание замкнутых экосистем. При этом на первый план выходят экологически чистые технологии.

Электроразрядные технологии могут и должны найти широкое применение в различных отраслях промышленности, медицине, сельском хозяйстве при решении проблемы защиты окружающей среды. Это определяется возможностью разработки относительно небольших высокоэффективных установок, способствующих децентрализации производственных процессов.

Рассматриваемые технологии основываются на трансформации низкотемпературной и неравновесной разрядной плазмы в различных диэлектриках или полупроводниках и позволяют преобразовывать энергию в фазовые переходы, химические реакции, механическую работу и другие формы. Их отличительная особенность – направленная поставка энергии большой плотности в объект, обрабатываемый в импульсном режиме, что обеспечивает высокие скорости изменения термодинамических и физических параметров вещества. Влияние на материал посредством электроразрядных технологий получается комплексным. Оно включает в себя интенсивное электромагнитное излучение в диапазоне от ультрафиолетового до радиочастотного, электрические поля, меняющиеся со скоростью до 10^{10}–10^{11} В/мс, высокоэнергетические атомы, заряженные частицы (электроны, ионы), ударные и акустические волны и по причине неравновесности процессов имеет синергетический характер, т. е. энергия взаимодействия превышает суммарное влияние взятых по отдельности факторов [8].

Развитие электроразрядных технологий вызывает большой интерес специалистов различных сфер деятельности. В рамках настоящей статьи не ставится задача охватить все возможные варианты и тенденции использования данных технологий. Цель работы – изучение наиболее перспективных направлений их применения в «горизонтальных небоскрёбах» линейных городов на Земле (в том числе в ЭЛГ) и ЭКД на орбите. По мнению авторов, особое внимание следует уделить технологиям, задействующим электрогидроударные установки (ЭГУ) и озон.

Графический материал, представленный на рисунке 1, иллюстрирует перспективы внедрения электроразрядных технологий при создании замкнутых систем, характеризующихся полными циклами самообеспечения людей всем необходимым (еда, вода, кислород и др.), начиная с получения экологически чистых удобрений, производства продукции растениеводства и животноводства, её хранения и переработки в продукты питания и заканчивая обезвреживанием жидких и твёрдых бытовых и промышленных отходов, а также их последующим использованием в замкнутом цикле изготовления органических удобрений.

Технологии с применением ЭГУ

Использование ЭГУ в промышленности достаточно разнообразно [9]. Известно более 35 направлений их применения в таких сферах, как машиностроение, добыча полезных ископаемых, строительство, горное дело, медицина, сельское хозяйство, экология, энергетика. Это может быть дробление материалов (нерудные, стеклобой, ферромагниты, растительные отходы, торф, драгоценные камни), обогащение руд, извлечение остаточных полезных ископаемых из отвалов, разрушение различного рода объектов (скальные породы при строительстве дорог, железобетонные конструкции, фундаменты, лёд, мёрзлые породы), механоактивация строительных материалов, смешивание растворов, очистка поверхностей, обеззараживание воды, повышение плодородия почв и др.

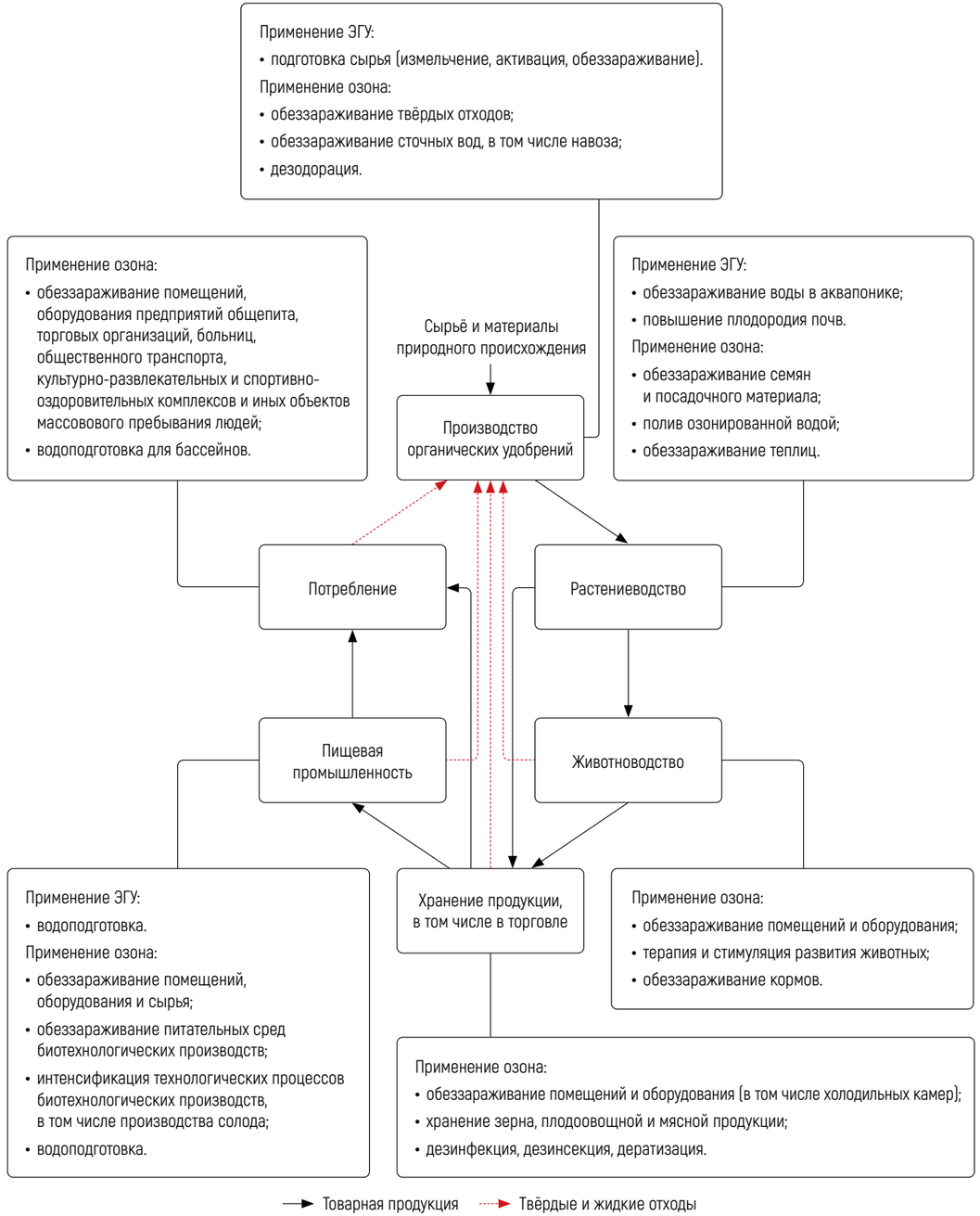


Рисунок 1 – Круговорот органических веществ в рамках замкнутого цикла

Хорошей альтернативой традиционным методам измельчения и обеззараживания в процессе создания замкнутых систем, предназначенных для реализации в ЭКД, может стать использование ЭГУ (упрощённая электрическая схема представлена на рисунке 2).

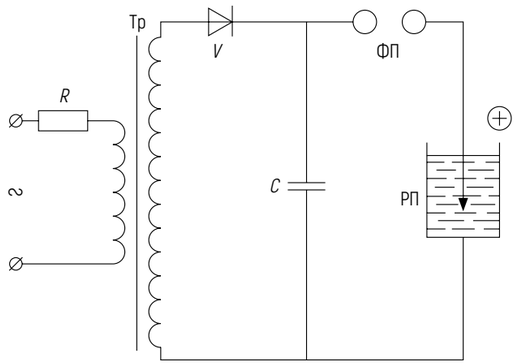


Рисунок 2 – Упрощённая электрическая схема ЭГУ:
R – зарядное сопротивление;
Тр – трансформатор; *V* – выпрямитель;
ФП – формирующий искровой промежуток;
РП – рабочий искровой промежуток;
C – рабочая ёмкость конденсатора

Принцип действия установки основан на электрогидравлическом эффекте (эффект Юткина), сущность которого заключается в преобразовании электрической энергии в механическую с высоким КПД. Происходит это за счёт того, что внутри объёма жидкости протекает специально сформированный импульсный электрический разряд; вокруг его зоны возникают сверхвысокие импульсные давления, способные совершать механическую работу и сопровождающиеся комплексом физико-химических явлений [9].

Один из главных плюсов применения электрогидроударной технологии при освоении космоса – экологичность, что обусловлено отсутствием дополнительного введения химических веществ, образования побочных продуктов.

При исследовании возможных путей использования ЭГУ в замкнутой экосистеме ЭКД авторами изучены три направления, связанные с обеспечением людей пищей и водой [10]:

- применение ЭГУ для измельчения природных материалов, в частности бурого угля как компонента лёгкого почвогрунта для культивирования растений;
- обеззараживание воды после очистки сточных вод, которая в зависимости от качества может использоваться для бытовых и технологических нужд, полива растений и др.;
- применение в установках замкнутого типа при выращивании аквакультуры, например рыбы.

Исследования проводились на ЭГУ UniThorr (рисунок 3), разработанной сотрудниками ЗАО «Струнные технологии» (г. Минск, Беларусь). На основе полученных результатов предложены изменения в традиционные схемы изготовления почвогрунта, очистки сточных вод и вод рыбного хозяйства [10].



Рисунок 3 – ЭГУ UniThorr

Технологии с применением озона

Для реализации целого спектра технологий с применением озона используются электроразрядные установки для генерации данного вещества из воздуха или чистого кислорода. На рисунке 4 представлена одна из возможных принципиальных схем электроразрядного генератора озона.

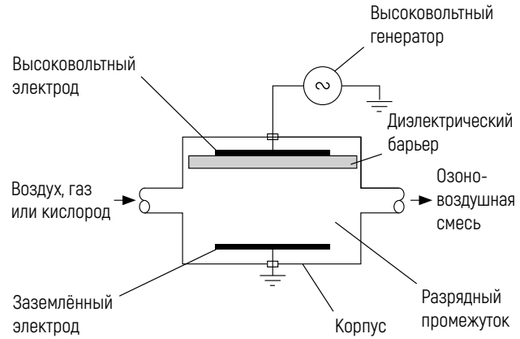


Рисунок 4 – Принципиальная схема электроразрядного генератора озона

Озонирование – один из методов электроразрядных технологий, который позволяет провести различную обработку (дезодорация, дезинфекция, санация, стерилизация) материалов, оборудования, помещений. Озон, являющийся аллотропной формой кислорода, широко применяется во многих отраслях: медицине, пищевой и химической промышленности, сельском хозяйстве, ЖКХ, косметологии и др.

Данное вещество занимает особое место среди окислителей благодаря своей высокой реакционной способности и быстрому разложению. Озон, по окислительной активности уступающий только фтору, имеет ряд других преимуществ:

- экологичность: в процессе реакций образуются предельные оксиды (при этом неиспользованный озон разлагается на атомарный и молекулярный кислород), которые не загрязняют окружающую среду и не вызывают появления канцерогенных веществ;
- высокая эффективность (по сравнению с традиционно применяемыми формальдегидом, хлором, окисью этилена и др.) в инактивации бактерий, спор, грибков и вирусов; требуется меньше времени контакта и не вырабатывается устойчивость у бактерий;
- доступность: для генерации озона нужны только воздух/кислород и электроэнергия, нет необходимости в транспортировке и хранении реагентов;
- простые методы контроля концентрации.

Использование озона в санитарных целях известно с конца XIX в., когда его начали применять для обеззараживания питьевой воды. В 1886 г. французский электротехник О. де Меритан предпринял такую попытку, а через 12 лет в г. Париже была сконструирована технологическая установка озонирования воды. В г. Ницце в 1906 г. реализовали более масштабный проект промышленной обработки воды озоном. Фактически с того времени данный газ стали активно задействовать для нужд санитарии.

Интерес к таким технологиям продолжает оставаться актуальным. Подтверждением этого является существование Международной озоновой ассоциации – некоммерческой организации, которая занимается развитием образовательной и научной деятельности для наиболее полного удовлетворения потребностей промышленности и научного сообщества в области применения озона. Раз в два года ассоциация проводит Всемирный конгресс по озону. В июле 2023 г. в Италии состоялся 26-й конгресс [11].

Отличительная особенность озона – его быстродействие. Вследствие высокого окислительного потенциала озон оказывает влияние на мембранные структуры клеток бактерий, грибов и вирусов, что приводит к нарушению их барьерной функции и в конечном итоге к гибели этих микроорганизмов. Озон вызывает разрушение фосфолипидов плазматической мембраны. Продукты озонолиза, образующиеся в результате данного процесса, действуют как дополнительные агенты, которые способствуют повреждению внутриклеточных структур, участвующих в обменных процессах. Завершающая стадия цитолиза характеризуется высвобождением запасов автолитических ферментов.

При использовании низких концентраций озона может наступить эффект стимуляции роста бактерий.

Учитывая многочисленные сферы применения озоновых технологий, выбраны наиболее важные из них, которые могут быть органично интегрированы в обеспечение жизнедеятельности ЭКД и земных линейных городов (в том числе ЭЛГ).

Озонирование для обеззараживания отходов с целью их переработки в органические удобрения

В настоящее время специалисты проявляют особый интерес к озонированию как самостоятельному методу, так и в сочетании с другими способами предварительной и последующей очистки сточных вод, которые на предприятиях пищевой промышленности и коммунального хозяйства,

как правило, включают органические примеси и могут обрабатываться посредством биологических методов, в том числе совместно с бытовыми стоками.

Проведённые многочисленные исследования по окислению различных органических загрязнений озоном показали его эффективность при обработке водных растворов, содержащих фенолы, формальдегиды, циклопентан, циклогексан, тетраэтилсвинец, нафтеновые и сульфанафтеновые кислоты, цианиды, крезолы, неионогенные и анионактивные ПАВ, нефть и др. Озон обладает более мощным дезинфицирующим свойством по сравнению с хлором: сильнее примерно в 15–20 раз в отношении обычных бактерий и в 300–600 раз в отношении споровых форм. Согласно [12] при дезинфекции сточных вод и обработке навоза требуемая доза составляет 500–1000 мг/м^3.

Озонирование
для снижения микробной обсеменённости
помещений и оборудования

Бактерицидная активность озона (в среднем 99 %) подтверждена ОАО «Дрожжевой комбинат» (г. Минск, Беларусь), где проведена дезинфекция ёмкостного оборудования методом озонирования [13]. По результатам экспериментов установлено, что обработка заторного аппарата объёмом 40 м^3 озоно-воздушной смесью в течение 1 ч приводит к гибели 100 % посторонних бактерий, характерных для дрожжевого производства. Расчёты экономической эффективности показывают, что данная технология в 20–30 раз дешевле обработки паром, традиционной для ёмкостных аппаратов.

Герметичные производственные установки, используемые в производстве сухих продуктов (крупы, мука, сухое молоко, сухое детское питание, комбикорм и др.), труднодоступны для постоянной мойки, очистки и дезинфекции. В местах, где скапливается влага или конденсат, быстро разрастается плесень, образуя очаги спор, которые поражают продукцию [14]. Когда количество микроорганизмов значительно увеличивается, для выявления причин загрязнения оборудование тщательно осматривают, затем частично разбирают, проводят механическую очистку и дезинфицируют. Это довольно трудоёмкий процесс, требующий остановки производства на длительное время.

Возможна стерилизация газом, например окисью этилена или пропилена. Однако после неё оборудование необходимо хорошо очистить, поскольку вероятно появление побочных токсичных продуктов. Кроме того, эффективна подобная обработка приблизительно в течение пяти дней, а потом происходит постепенный рост микробиологической обсеменённости.

Использование такого дезинфектанта, как озон, позволяет избежать вышеперечисленных сложностей. Благодаря газообразному состоянию озоно-воздушная смесь легко заполняет обрабатываемые пространства, равномерно распределяясь по объёму любой конфигурации: высокая проникающая способность озона даёт ему возможность воздействовать на поры, капилляры, щели, трещины.

Озонирование
для предпосевной обработки семян
и посадочного материала

Применение в сельском хозяйстве озона для того, чтобы уничтожить возбудителей болезней и стимулировать биологические процессы на этапе проращивания семян, имеет хорошие перспективы, поскольку позволяет значительно сократить использование стимуляторов роста, пестицидов, антибиотиков и других химических препаратов, вредных для человека [15, 16].

Одним из основных путей увеличения урожайности является защита растений от болезней, в частности от фитопатогенов, споры которых локализуются на поверхности семян. Наиболее вредоносные среди них – возбудители твёрдой головни и корневых гнилей, вызывающие потери урожая зерновых до 20–35 %.

Результаты исследований демонстрируют, что обработка семян озоном эффективна как метод снижения поверхностно-семенной инфекции и даже полной элиминации возбудителей, например, твёрдой головни. Кроме того, данное мероприятие повышает всхожесть семян, увеличивает длину и сырую массу проростков. В целом, озонирование положительно влияет на ряд показателей, что в итоге содействует повышению урожайности сельскохозяйственных культур [17, 18].

Если сравнить с другими методами борьбы с поверхностно-семенной инфекцией, то предпосевное озонирование семян имеет преимущества, связанные с высокой технологичностью, достаточной эффективностью в отношении возбудителей болезней и экологической безопасностью. Кроме того, как окислитель озон способен разрушать микотоксины. Обработка газообразным озоном или озонированной водой сельскохозяйственной продукции при хранении улучшает её биологическую ценность за счёт деструкции токсинов.

Озонирование
для борьбы с вредителями хлебных запасов

Сохранение урожая зерновых культур является серьёзной проблемой, особенно в свете глобальных экологических изменений. Один из ключевых вызовов – борьба с вредителями хлебных запасов.

Согласно современным данным известны более 100 видов амбарных вредителей, включая 34 вида клещей, 51 вид жесткокрылых насекомых, девять видов чешуекрылых насекомых, а также шесть видов мышевидных грызунов. Эти вредители обладают высокой плодовитостью и способны быстро размножаться при благоприятных условиях, достигая значительной численности. Зерно, повреждённое ими, теряет до 50 % массы и становится непригодным для посева и употребления в пищу.

На основании результатов фитосанитарного мониторинга выявлено, что после загрузки зернохранилищ более 70 % помещений с семенами и более 73 % с фуражной продукцией оказались заселены амбарными вредителями [19].

Многочисленные исследования подтверждают, что озон губителен для различных видов вредных насекомых и клещей, обитающих в зерновых массивах. Биологическая активность данного вещества зависит от ряда факторов: вида вредителя, стадии его развития, концентрации озона, длительности экспозиции, температуры и влажности зерна.

Некоторые насекомые, такие как жуки рисового и суринамского мукоеда, погибают сразу после обработки. Значительная часть особей амбарного долгоносика и малого мучного хрущака также гибнет мгновенно, а оставшиеся находятся в глубокой парализации и умирают к пятому дню [20].

Озон оказывает летальный эффект на все преимагинальные стадии развития вредителей (яйца, личинки, куколки). Наиболее устойчивая стадия – куколка. Поскольку яйца, личинки и куколки зернового точильщика развиваются внутри зёрен, где доступ озона затруднён, время экспозиции для их полного уничтожения должно быть увеличено [21].

Проведены исследования для оценки способности размножаться у насекомых, которые пережили сублетальные дозы озона. Обнаружено, что вредители, находящиеся в скрытом периоде поражения данным газом, не производят потомство. Наблюдения также показали, что насекомые более уязвимы к летальному воздействию озона в сухом зерне по сравнению с влажным.

Таким образом, озоновая обработка зерна является эффективным и экологичным методом контроля широкого спектра вредителей в процессе хранения зерна.

Озонирование
для сохранности плодоовощного сырья

Первоначальные исследования влияния озона на сохранение фруктов сосредоточивались на том, что он воздействует преимущественно на их поверхность, которая часто содержит трудноокисляющиеся соединения. Использование озона для увеличения сроков лёжкости, особенно в условиях низких температур, предложено и реализовано в специальных холодильных установках ещё в 1909 г. Однако для более детального понимания механизмов хранения фруктов и овощей в холодильных камерах с озоном требовались дополнительные изыскания, поскольку разные культуры нуждались в различных концентрациях данного вещества.

Озон не только предотвращает развитие на стенах хранилищ, деревянной таре и других упаковочных материалах плесневых колоний, которые могут придавать плодам неприятный запах, но и замедляет процессы созревания и старения продукции за счёт окисления этилена и других метаболитов. Так, обработка озоном в концентрации 4–6 мг/м^3 даёт возможность в два раза увеличить сроки хранения клубники, малины и винограда без ухудшения качества.

Кроме того, озонирование значительно ингибирует развитие фитопатогенной микрофлоры на овощных культурах. Например, обсеменённость поверхности картофеля снижается в 1,5–2 раза, а в воздухе хранилища – в 10–12 раз, что позволяет повысить выход стандартной продукции на 5–7 % без изменения её биохимических и органолептических показателей.

При применении озона в пищевой промышленности необходимо учитывать характеристики обрабатываемой продукции, поскольку используемое сырьё по-разному реагирует на озонирование. В частности, апельсины практически нечувствительны к достаточно большим концентрациям озона (до 80 мг/м^3), в то время как для других культур, например картофеля, оптимальная концентрация составляет 4–20 мг/м^3. Превышение допустимых доз может приводить к ухудшению органолептических показателей. Кроме того, на эффективность озонирования влияют и другие факторы: температура, влажность, микробный состав, технологические особенности.

Таким образом, подход к обработке плодоовощной продукции должен быть комплексным и учитывать специфику каждой культуры [22].

Озонирование
для интенсификации процессов сушки

Применение озоно-воздушной смеси во время сушки зерна снижает продолжительность процесса в 1,2–2 раза.

При этом происходит обеззараживание поверхности зерна (дезинфекция и дезинсекция), изменяется обмен веществ, что приводит к уменьшению скорости потери массы на протяжении всего периода последующего хранения [23].

Кроме того, на этапе послеуборочной подготовки зерна сушка с использованием озоно-воздушной смеси оказывает обеззараживающее действие и улучшает качественные характеристики материала, предотвращает процесс самосогревания, обеспечивает состояние глубокого покоя, сохранность массы сухого вещества и повышает всхожесть, а также в дальнейшем способствует устойчивости растений к неблагоприятным условиям.

Сушка растительного сырья, в том числе лекарственного, проводится с целью замедлить физико-химические, биохимические и другие процессы, вызывающие его порчу. Однако тепловое воздействие на компоненты сырья (витамины, белки, жиры) может вызвать необратимые изменения. Для того чтобы предотвратить снижение биологической ценности лекарственного растительного сырья, необходимо сократить до минимума биохимический период сушки, характеризующийся активизацией окислительных процессов.

Решения проблем интенсификации тепло- и массообменных процессов сушки растительного сырья при сохранении его биологической ценности можно достигнуть путём замены традиционного сушильного агента на озоно-воздушную смесь, влияющую на химические и биохимические реакции непосредственно в самом высушиваемом материале. Озон вызывает биохимическую реакцию адаптивного типа, изменение проницаемости клеточных мембран и структурные преобразования покровных тканей. В результате сжатия клеточных мембран создаётся градиент давления даже при комнатной температуре окружающей среды, а также ослабление связи влаги с растительным сырьём, что переводит сам процесс на более низкий энергетический уровень. При этом количество теплоты, затрачиваемой на отрыв молекулы воды, уменьшается на 20–60 %. Технология сушки в озоно-воздушной среде оказывает обеззараживающее действие и улучшает качественные характеристики материала.

Результаты лабораторных и производственных испытаний продемонстрировали, что использование озоно-воздушной смеси в качестве сушильного агента интенсифицирует процесс сушки лекарственного растительного сырья на 15–20 %, в итоге её продолжительность до кондиционной влажности сокращается с 5 до 4 ч, что позволяет увеличить производительность сушилки и снизить потери биологически активных веществ [24].

Озонирование мясной продукции, рыбы, сыра

Современные исследования подтверждают важность использования озона для продления сроков хранения различных пищевых продуктов. Ещё в 1909 г. обнаружено, что установка озонатора в специальной холодильной камере способствует уменьшению количества микробов на мясе. Данное вещество оказывает бактерицидное действие только на поверхности продукта, проникая лишь на небольшую глубину. В нормальной атмосфере основные микробные загрязнения образуются уже через семь дней, тогда как в озоновой – спустя 14 дней. Для достижения положительного результата рекомендуется ежедневное озонирование в течение 2 ч при концентрации газа 6 мг/м^3. В этом случае свежее мясо может храниться до 40–45 дней при температуре 20 °С и влажности 85 % [25, 26].

Применение озона также показало свою эффективность для замороженной говядины. Срок её хранения может быть увеличен на 30–40 % при концентрации 10–20 мг/м^3.

Обработка свежепойманной рыбы озонированной водой и использование льда, полученного из озоносодержащей воды, значительно продляют срок хранения рыбной продукции.

Положительные результаты в данном направлении дали эксперименты, проводимые в процессе изготовления и хранения сыра. Концентрация озона 0,04 мг/м^3 при температуре 15 °С и влажности 80–85 % позволяла уничтожать споры на поверхности сыра в период созревания и увеличивала срок хранения до 11 недель.

Таким образом, использование озона демонстрирует высокую эффективность в продлении сроков хранения широкого спектра пищевых продуктов.

Озонирование в животноводстве

Сельскохозяйственные животные часто страдают от заболеваний, вызванных спорообразующими микроорганизмами, таких как сальмонеллёз, бронхит и пневмония. Исследования показывают, что использование озонирования воздуха может быть эффективным методом профилактики и лечения.

В экспериментах, где в местах содержания животных воздух подвергали воздействию озона, практически полностью устранялись бронхолёгочные заболевания. В то же время у 40 % особей, находившихся в обычной воздушной среде, наблюдались спонтанные пневмонии, приводящие к гибели до 20 % поголовья. При введении золотистого стафилококка в сублетальной дозе у подопытных, подвергавшихся озонированию, не развивалась пневмония, в то время как в контрольной группе без озонирования у 50 % фиксировалась тяжёлая форма болезни. Дополнительно установлено, что озонирование воздуха в импульсном режиме повышает устойчивость животных к спорообразующей микрофлоре, а также снижает заболеваемость, вызванную содержащимися в кормах микотоксинами, что приводит к увеличению среднесуточных привесов на 5–10 % [27].

Озонирование также оказывает положительное влияние на состояние пчелиных семей. Наилучший результат достигнут при концентрации 32 мг/м^3, экспозиции в течение 24 суток. С увеличением количества обработок до 24 раз степень развития пчелосемей повысилась на 39 % [12].

Кроме того, озон эффективен для дезинфекции и обеззараживания помещений животноводческих комплексов. В окружающем воздухе и на поверхностях он разрушает микрофлору, в том числе вирусы, включая вирус африканской чумы свиней, в отличие от бактерицидных ламп, не обеспечивающих полной микробиологической безопасности [28].

Озонирование
на предприятиях пищевой промышленности

Обеззараживание питательных сред бродильных производств. В пищевой промышленности основными источниками заражённости питательных сред бродильных производств являются сырьё (солодовое сусло или меласса), вода, оборудование. Из-за большой концентрации сахаров и сухих веществ в солодовом сусле, как и в мелассе, микроорганизмы находятся в состоянии, близком к анабиотическому. При приготовлении питательной среды содержание сухих веществ и сахаров снижается вдвое, что благоприятно для развития посторонней микрофлоры. На производстве эту проблему решают добавлением в питательную среду значительного количества дезинфектантов (хлорная известь) либо антибиотиков.

БелНИИ пищевых продуктов предложен экологически чистый комплексный способ приготовления питательных сред бродильных производств, основанный на дезинфицирующих свойствах воды, приобретаемых ею при озонировании [29].

Микробиологические показатели питательных сред, приготовленных по данной технологии, на один-два порядка лучше, чем при использовании раствора хлорной извести. Например, при обеззараживании мелассы озонированной водой бактерицидный эффект наблюдается не только непосредственно после обработки, но и в питательном сусле, прошедшем систему коммуникаций. Общее количество дрожжей при этом ниже на 52 %, диких дрожжей – на 86 %, молочнокислых бактерий – на 91,4 %, лейконостока – на 96 %; гнилостные бактерии и плесневые грибы не обнаружены. Кроме того, в процессе брожения не повысилась кислотность замесов [29].

Технология протестирована на таких белорусских предприятиях, как Дрожжевой комбинат, Малиновщизненский спиртоводочный завод – «Аквадив», Березинский спиртовой завод (филиал «Минск Кристалл»).

На Малиновщизненском спиртоводочном заводе – «Аквадив» озонированная вода, сохраняющая асептические свойства, снижает обсеменённость замесов, сусла, браги кислотообразующими бактериями. Установленная в замесе кислотность (pH = 6,4) сохраняется в технологическом процессе на протяжении трёх суток, при этом сокращается расход антибиотиков (например, фриконта) на 50 %.

Обеззараживание компонентов пищевых концентратов. Согласно нормативным актам Управления по контролю качества пищевых продуктов и лекарственных средств США (FDA) озон сертифицирован как дезинфектант и санирующее средство для агропромышленного сектора. Такой статус присвоен озону в связи с тем, что в пищевых продуктах после его применения не образуются соединения, обладающие канцерогенными или мутагенными свойствами. На данном основании он признан «безопасным для использования в целом» (GRAS) [30].

Микробиологическое состояние пищевых концентратов зависит от степени загрязнения их основных компонентов. Несмотря на предварительную обработку ингредиентов, обсеменённость пищевых концентратов при хранении значительно возрастает. При том что пряности содержат антимикробные вещества, они также могут быть контаминированы большим количеством микроорганизмов. Источники микрофлоры сырья различны. В некоторых случаях, например в имбирь, лук, чеснок и другие продукты, микробы попадают из почвы. Кроме того, в процессе сушки, хранения, переработки может происходить загрязнение, причём степень соблюдения гигиенических условий на всех ступенях производства увеличивает или уменьшает количество микробов в исходном материале. Для того чтобы получить качественную продукцию, сырьё необходимо дополнительно обеззараживать. Наилучшее решение – обработка компонентов пищевых концентратов озоно-воздушной смесью.

Испытания, проведённые авторами настоящей статьи в ОАО «Лидские пищевые концентраты», продемонстрировали, что обработка размолотых компонентов пищевых концентратов озоно-воздушной смесью способствует снижению их общей микробной обсеменённости на 41–86 % без изменения органолептических показателей продукции [31].

Водоподготовка. Обработка озоном в сочетании с фильтрацией позволяет окислять и удалять из воды сложные органоминеральные комплексы, а также металлы (Fe^{2+}, Mn^{2+}, Ag^{2+}, Co^{2+} и др.). При этом её минеральный состав, щёлочность и кислотность не претерпевают изменений. В отличие от хлора избыточный озон не денатурирует воду, а, напротив, обогащает кислородом, придавая вкус родниковой, что даёт возможность использовать его не только для обеззараживания, но и для дезодорации питьевой воды, а также для удаления токсичных органических веществ [32].

С точки зрения профилактики эпидемических заболеваний наиболее важным аспектом улучшения качества питьевой воды является её обеззараживание. Озон демонстрирует высокую вирулицидную активность при концентрациях 0,5–0,8 мг/л, реальных для процесса водоснабжения, и времени контакта 12 мин [33].

Более 95 % бутилированной воды в мире проходит обработку озоном, который одобрен Международной ассоциацией бутилированной воды (IBWA) в качестве дезинфектанта. Опыт применения газа для обеззараживания, обезвреживания и дезодорации воды в отечественной и зарубежной практике свидетельствует о перспективности его использования на предприятиях ликёро-водочной, спиртовой, винодельческой, пивобезалкогольной промышленности, а также для водоснабжения населения [32].

Обеззараживание формовочного крахмала в кондитерском производстве. Использование формовочного крахмала является одним из наиболее распространённых способов придания формы кондитерским изделиям. Для того чтобы сохранить технологические свойства и предотвратить инфицирование микроорганизмами готовой продукции, отработанный формовочный крахмал должен подвергаться обеззараживанию термическим путём в специальных сушилках, имеющих высокую энергоёмкость. Задействование дезинфектантов не допускается, так как формовочный крахмал в процессе производства непосредственно контактирует с конфетной массой. Вместе с тем технологически сложно осуществить дезинфекцию какими-либо антимикробными средствами.

Наилучшее решение этой проблемы – применение озоно-воздушной смеси, позволяющей достичь снижения общей микробной обсеменённости отработанного формовочного крахмала на 75 % с проникающей способностью 3 см. Его технохимические характеристики как формовочного материала изменяются при этом незначительно: влажность – в пределах 1 %, кислотность повышается в среднем на 1,1 °Т [34].

Озон в производстве солода. Солод широко применяется в пищевой промышленности не только в производстве крепких спиртных напитков, пива и кваса, но также в хлебопечении для обогащения продуктов важными питательными веществами.

Доказано, биохимические процессы, протекающие в солоде под воздействием озона, аналогичны происходящим в зерне при подобной обработке. Экспериментальные исследования продемонстрировали, что при использовании озона продолжительность проращивания зерна сокращается на 4–15 ч.

Кроме того, длительность сушки солода с помощью озонированного сушильного агента уменьшается на 4–6 ч [35–37].

Результаты испытаний свидетельствуют, что применение озона на различных этапах производства солода способствует улучшению его качественных характеристик. Кратковременное озонирование в концентрации 10 мг/м^3 в процессе просеивания повышает энергию прорастания зерна на 7–8 %. Это приводит к обеспечению надлежащего качества готового солода, сокращению длительности осахаривания и увеличению экстрактивности, что говорит о более высокой активности его гидролитических ферментов [35–37].

Озонирование для обеззараживания воздуха и борьбы с вирусами

Применение озона в медицине связано с дезинфекцией воздуха и поверхностей в помещениях. Результаты исследований показали зависимость обеззараживающего эффекта от материалов обрабатываемых предметов. Так, через 30 мин озонирования наблюдалась полная гибель микроорганизмов на керамике, стекле, металле, пластике, в то время как на пористых поверхностях (дерево, линолеум) сохранялись единичные колонии. При увеличении экспозиции до 60 мин достигалась полная микробная деконтаминация поверхностей из любого материала [38].

Установлено, что бактерии более восприимчивы к воздействию озона по сравнению с плесенью.

Особенности применения озоновых технологий

При разработке и внедрении технологий с использованием озона необходимо учитывать ряд важных особенностей.

Во-первых, следует соблюдать правила охраны труда, поскольку согласно действующим санитарным нормам предельно допустимая концентрация озона в воздухе рабочей зоны не должна превышать 0,1 мг/м^3.

Во-вторых, требуется тщательно контролировать дозирование данного вещества, так как малые его концентрации могут оказывать биостимулирующий эффект. Соответственно, при создании технологий обеззараживания нужно избегать образования таких концентраций в отдельных частях объектов.

В-третьих, скорость разложения озона существенно различается в зависимости от обрабатываемой поверхности. Например, наличие в помещении картонной упаковки или формовочного крахмала может увеличить продолжительность озонирования в 3–10 раз по сравнению с пустым помещением.

Другие ключевые факторы, которые необходимо учитывать при использовании озоновых технологий: температура, влажность, конфигурация объекта, а также видовой состав микрофлоры. Кроме того, озон способен оказывать разрушительное воздействие на некоторые материалы, в частности резинотехнические изделия, что требует первичного обследования объекта и, вероятно, замены деталей на озоностойкие аналоги.

Таким образом, в каждом конкретном случае, несмотря на большое количество находящейся в открытых источниках технической и технологической информации по применению озона, разработка технологии озонирования должна включать ряд теоретических и практических мероприятий, в ходе которых будет проведено пробное обеззараживание и выполнены соответствующие микробиологические анализы для определения рациональных режимов (продолжительность и периодичность) на каждом конкретном объекте (рисунок 5).

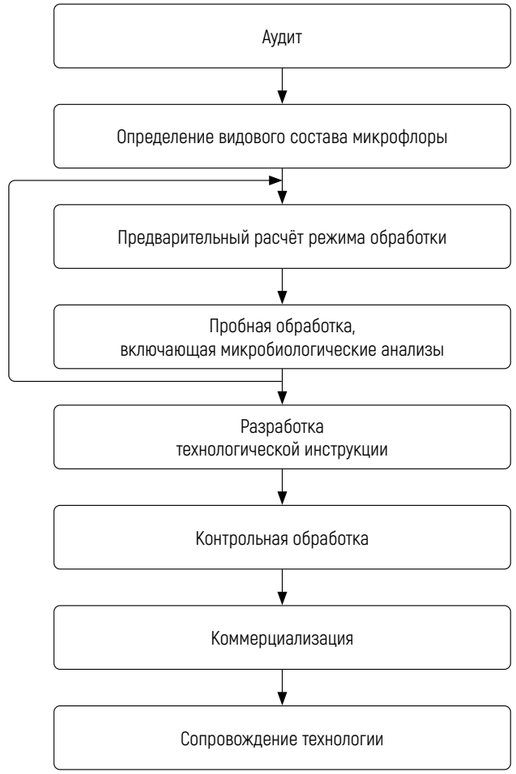


Рисунок 5 – Алгоритм разработки технологии озонирования

Заключение

На основе литературных источников и практического опыта авторов публикации проведён анализ применения электроразрядных технологий, которые могут быть задействованы в замкнутых экосистемах в рамках развития концепций земных линейных городов (в том числе ЭЛГ) и ЭКД.

Главным преимуществом данных технологий является их экологическая чистота, а также возможность генерации необходимой электроэнергии с помощью солнечных панелей в условиях космоса.

Рассмотрена небольшая часть вариантов использования электроразрядных технологий для обеспечения потребностей людей (еда, вода, чистый воздух и др.), начиная с получения экологически чистых удобрений, производства продукции растениеводства и животноводства, её хранения и переработки в продукты питания и заканчивая обезвреживанием жидких и твёрдых бытовых и промышленных отходов, а также их последующим применением в замкнутом цикле изготовления органических удобрений в линейных городах (в том числе ЭЛГ) на Земле и в ЭКД на орбите.

Дальнейшее изучение направлений использования электроразрядных технологий как самостоятельно, так и в синергии с иными методами полностью соответствует концепции ЭКД и линейного города и может открыть новые технологические подходы к решению проблем, стоящих перед человечеством.

Список основных источников

1. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Гомель: Инфотрибо, 1995. – 337 с.: ил.*
2. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.*
3. *Юницкий, А.Э. Почва и почвенные микроорганизмы в биосфере ЭкоКосмоДома / А.Э. Юницкий, Е.А. Соловьёва, Н.С. Зыль // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 179–183.*
4. *Юницкий, А.Э. Создание математической модели общепланетарного транспортного средства: разгон маховиков, прохождение атмосферы, выход на орбиту / А.Э. Юницкий, Р.А. Шаршов, А.А. Абакумов // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 77–83.*
5. *Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 12 сент. 2020 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – 516 с.*
6. *Юницкий, А.Э. Инженер: автобиография / Анатолий Юницкий. – Минск: Белпринт, 2021. – 400 с.: ил.*
7. *Unitsky, A. System Foundations of Non-Rocket Near Space Industrialization: Problems, Ideas, Projects / A. Unitsky. – Minsk: Gradient, 2021. – 568 p.*
8. *Лопатин, В.В. Электрический разряд и его технологические применения / В.В. Лопатин, И.И. Сквирская // Известия Томского политехнического университета. – 2003. – Т. 306, № 1. – С. 128–132.*
9. *Юткин, Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности / Л.А. Юткин. – Л.: Машиностроение, 1986. – 253 с.*
10. *Варианты применения электрогидроударной установки в условиях проживания людей в космосе / А.Э. Юницкий, Н.С. Першай, С.А. Арнаут // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы VI междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 7–8 окт. 2023 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2024. – С. 322–335.*
11. *IOA 26th Ozone World Congress and Exhibition [Electronic resousce]. – Mode of access: https://www.rsc.org/events/detail/76225/ioa-26th-ozone-world-congress-and-exhibition. – Date of access: 19.06.2024.*
12. *Нормов, Д.А. Электроозонные технологии в семеноводстве и пчеловодстве: дис. … д-ра техн. наук: 05.20.02 / Д.А. Нормов. – Краснодар, 2009. – 307 л.*
13. *Энергосберегающая технология обеззараживания труднодоступного производственного оборудования, ёмкостей и систем коммуникаций на предприятиях пищевой промышленности АПК / Т.П. Троцкая [и др.] // Аграрная энергетика в XXI столетии: материалы III междунар. науч.-техн. конф., 21–23 нояб. 2005 г. – Минск: Ин-т энергетики АПК НАН Беларуси, 2005. – С. 162–165.*
14. *Обеззараживание труднодоступного производственного оборудования в кондитерском производстве методом озонирования / Т.П. Троцкая [и др.] // Озон и другие экологически чистые окислители. Наука и технологии: материалы первой всерос. конф., посвящ. 250-летию МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, 7–9 июня 2005 г. – М.: КДУ, 2005. – С. 185.*
15. *Баскаков, И.В. Влияние способа хранения зерна на качество семян / И.В. Баскаков, О.В. Чернова // Инновационные направления развития технологий и технических средств механизации сельского хозяйства: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию каф. с.-х. машин агроинженер. фак. Воронеж. гос. аграр. ун-та им. императора Петра I, Воронеж, 25 дек. 2015 г.: в 2 ч. – Воронеж: ВГАУ, 2015. – Ч. I. – С. 82–88.*
16. *Баскаков, И.В. Преимущества использования процесса озонирования в растениеводстве / И.В. Баскаков, А.П. Тарасенко, Р.Л. Чишко // Наука и образование в современных условиях: материалы науч. конф., Воронеж, 10 марта – 22 апр. 2016 г. – Воронеж: ВГАУ, 2016. – С. 198–204.*
17. *Сигачёва, М.А. Влияние предпосевного озонирования семян на урожайность и качество зерна яровой мягкой пшеницы в Кузнецкой лесостепи: дис. … канд. с.-х. наук: 06.01.01 / М.А. Сигачёва. – Красноярск, 2015. – 152 л.*
18. *Шестерин, И.В. Влияние озона и протравителей на посевные качества и оздоровление яровой пшеницы: дис. … канд. с.-х. наук: 06.01.05; 06.01.11 / И.В. Шестерин. – Саратов, 2004. – 148 л.*
19. *Обзор распространения вредителей, болезней и сорняков сельскохозяйственных культур в 2012 году и прогноз их появления в 2013 году в Республике Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://clck.ru/3G4PzT. – Дата доступа: 19.06.2024.*
20. *Закладной, Г.А. Биологическая активность озона в отношении вредителей зерна – рисового долгоносика и амбарного долгоносика / Г.А. Закладной, Е.Ф. Саеед, Е.Ф. Когтева // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2003. – № 4. – С. 59–61.*
21. *Новый экологически чистый метод борьбы с вредителями мукомольного производства / З.В. Ловкис [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2005. – № 1. – С. 109–111.*
22. *Исследование влияния озоно-воздушной смеси на сохранность технологичных сортов клубней топинамбура / А.В. Куликов [и др.] // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2020. – № 3 (49). – С. 84–90.*
23. *Использование озона в биоэнергетических процессах сушки и сохранности растительных материалов / Т.П. Троцкая [и др.] // Методы исследований и результаты разработок техники для ресурсосберегающих технологий сельского хозяйства: сб. ст. междунар. науч.-техн. конф. молодых учёных, Минск, 18–20 окт. 2005 г.: в 2 т. / РУНИП «ИМСХ НАН Беларуси». – Минск: ИМСХ, 2005. – Т. 1. – С. 118–124.*
24. *Рупасова, Ж.А. Трансформация биохимического состава корня валерианы лекарственной в зависимости от технологии процесса сушки. Особенности изменений в углеводном составе корня валерианы лекарственной / Ж.А. Рупасова // Биологически активные вещества растений в медицине, сельском хозяйстве и других отраслях: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Нарочанские чтения – 2), Минск – Нарочь, 27–30 сент. 2006 г. – Минск: РИВШ, 2006. – С. 115–125.*
25. *Колодязная, В.С. Применение озона при холодильном хранении продуктов животного происхождения: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.18.14 / В.С. Колодязная; Ленингр. технолог. ин-т холодил. пром-сти. – Л., 1975. – 22 с.*
26. *Резго, Г.Я. Исследование применения качества и сроков хранения полукопчёных колбас в озонируемых камерах: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.18.15 / Г.Я. Резго; Моск. ин-т нар. хоз-ва им. Г.В. Плеханова. – М., 1975. – 30 с.*
27. *Кривопишин, И.П. Озон в промышленном птицеводстве / И.П. Кривопишин. – М.: Росагропромиздат, 1988. – 175 с.*
28. *Инструкция по ветеринарно-санитарной обработке объектов ветнадзора с применением озона: утв. ДВ МСХ РФ 09.07.2001. – 11 с.*
29. *Литвинчук, А.А. Применение озонированной воды для обеззараживания мелассного питательного сусла при производстве дрожжей / А.А. Литвинчук // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2006. – № 5. – С. 216–218.*
30. *The Use of Ozone as an Antimicrobial Agent: Agricultural and Food Processing Technical Assessment. – Palo Alto: EPRI, 2001. – 44 p.*
31. *Разработать технологию и режимы сохранности качественных показателей сырья и готовой продукции (пивоваренный ячмень, солод, фрукты, овощи, сухофрукты) на перерабатывающих предприятиях концерна «Белгоспищепром» с целью увеличения сроков годности: отчёт о НИР / РУП «БелНИИ пищевых продуктов». – Минск, 2004. – 51 с.*
32. *Использование озона в технологии обезжелезивания воды / Т.П. Троцкая [и др.] // Озон и другие экологически чистые окислители. Наука и технологии: материалы первой всерос. конф., посвящ. 250-летию МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, 7–9 июня 2005 г. – М.: КДУ, 2005. – С. 249.*
33. *Литвинчук, А.А. Разработка и апробация системы озонирования для водоподготовки перед розливом / А.А. Литвинчук, А.В. Куликов, А.С. Данилюк // Наука, питание и здоровье: сб. науч. тр.: в 2 ч. / Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по продовольствию. – Минск: Беларус. навука, 2021. – Ч. 2. – С. 139–144.*
34. *Получение окислённых крахмалов с использованием неспецифического газообразного окислителя и исследование их свойств / В.В. Литвяк [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2007. – № 3. – С. 42–45.*
35. *Интенсификация производства солода на основе биостимуляции / А.А. Шепшелев [и др.] // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2019. – Т. 12, № 4 (46). – С. 53–58.*
36. *Изучение влияния электроактивированнного воздуха на процесс сушки ячменного солода / Д.А. Зайченко [и др.] // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2023. – Т. 16, № 1 (59). – С. 69–75.*
37. *Литвинчук, А.А. Исследование кинетических кривых сушки сельскохозяйственного сырья и пищевых продуктов / А.А. Литвинчук, С.А. Арнаут, А.А. Садовский // Переработка*

и управление качеством сельскохозяйственной продукции: сб. ст. II междунар. науч.-практ. конф., Минск, 26–27 марта 2015 г. / под общ. ред. В.Я. Груданова. – Минск: БГАТУ, 2015. – С. 124.

38. *Определить эффективность бактериальной деконтаминации воздушной среды и предметов обстановки в лабораторных условиях и в условиях лечебно-профилактических учреждений с помощью озонатора ЭРГО: отчёт о НИР / Белорус. гос. ин-т усовершенствования врачей; рук. М.И. Римжа. – Минск, 1999. – 18 с.*



УДК 62-611+629.7

Перспективы использования дополнительного источника кислорода в двигателе внутреннего сгорания

А.Э. Юницкий[1, 2]
доктор философии транспорта

Т.Г. Третьякова[2]

Н.С. Зыль[2]

В.Л. Лукша[2]

[1] ООО «Астроинженерные технологии», г. Минск, Беларусь

[2] ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Беларусь

Рассмотрены проблемы загрязнения современным транспортом окружающей среды, а также виды вредных и опасных химических соединений в выхлопных газах и их влияние на земную биосферу.
Показаны перспективы регулирования экологических вопросов, связанных с использованием топлива, путём оптимизации процессов горения.
Проанализированы возможные решения для внедрения данной технологии.
Исследована эффективность встроенных источников кислорода и изучено их потенциальное воздействие на экологию за счёт минимизации содержания загрязняющих веществ в выхлопных газах.
Обозначены преимущества чистого окислителя (кислорода), а также способы повышения ресурса двигателя посредством специальных присадок и снижения температуры в камере сгорания.

Уменьшение токсичности двигателей внутреннего сгорания вследствие применения дополнительного источника кислорода позволит использовать их в высокоскоростных, ультраскоростных и гиперскоростных комплексах Струнного транспорта Юницкого (ЮСТ), интегрированных во взлётно-посадочную эстакаду общепланетарного транспортного средства, поскольку для обеспечения геокосмической логистики потребуются эффективные перевозки пассажиров и грузов вдоль экватора.
ЮСТ, имеющий бортовой запас энергии (что особенно актуально на протяжённых океанических участках), сможет, например, заменить экологически опасную магистральную авиацию, которая интенсивно разрушает озоновый слой планеты.

Ключевые слова:
биоэтанол, двигатель внутреннего сгорания (ДВС), жидкий кислород, общепланетарное транспортное средство (ОТС), снижение выбросов, экологическая безопасность.

UDC 62-611+629.7

Prospects of Using an Additional Oxygen Source in an Internal Combustion Engine

A. Unitsky[1, 2]
Dr. of Philosophy in Information Technologies (Transport)

T. Tratsiakova[2]

N. Zyl[2]

V. Looksha[2]

[1] Astroengineering Technologies LLC, Minsk, Belarus

[2] Unitsky String Technologies Inc., Minsk, Belarus

Problems of environmental pollution caused by modern transport as well as types of harmful and dangerous chemical compounds in exhaust gases and their impact on the Earth's biosphere have been considered.
Prospects for regulating ecological issues related to fuel use by optimizing combustion processes have been revealed.
Possible solutions for implementing this technology have been analyzed.
The efficiency of built-in oxygen sources and their potential impact on the environment by minimizing the level of pollutants in exhaust gases have been investigated. The advantages of pure oxidizer (oxygen) as well as the ways to increase engine lifespan by means of special additives and reducing combustion chamber temperature have been outlined.

Reducing the toxicity of internal combustion engines due to the use of an additional oxygen source will allow their employment in high-speed, ultrahigh-speed and hypervelocity complexes of the Unitsky String Transport (uST) integrated into the takeoff and landing overpass of the General Planetary Vehicle, since efficient passenger and cargo transportation along the equator will be required to ensure geocosmic logistics. uST with its onboard energy reserve (especially relevant for long oceanic sections) could, for example, replace environmentally dangerous long-haul aviation which intensively destroys the planet's ozone layer.

Keywords:
bioethanol, emission reduction, environmental safety, General Planetary Vehicle (GPV), internal combustion engine (ICE), liquid oxygen.

Введение

Одна из важнейших задач, стоящих перед человечеством, – уменьшение загрязнения планеты токсичными веществами, выделяемыми промышленными предприятиями, автомобильным и авиационным транспортом.

Выхлопные газы, особенно инверсионный след магистральных самолётов, губительно воздействуют на окружающую среду. При сжигании топлива в атмосферу попадают продукты сгорания, которые опасны как для здоровья человека, так и для всей флоры и фауны. Многокомпонентный состав любых выхлопных газов, являющихся также парниковыми, разрушает озоновый слой, тем самым приводя к глобальному потеплению климата и парниковому эффекту [1]. Смог, образующийся в результате антропогенной деятельности, вызывает воспаление слизистых оболочек, а также удушье, заболевания нервной системы. Почвы, прилегающие к автомобильным дорогам, становятся деградированными и загрязнёнными канцерогенами от выхлопных газов и продуктов истирания шин, тормозных колодок и асфальта [2].

В отработавших газах обнаружено около 300 компонентов, которые подразделяют на нетоксичные вещества (азот, водород, кислород, водяные пары, диоксид углерода); токсичные вещества (оксид углерода, оксиды азота, углеводороды, включающие парафины, олефины, ароматические соединения, альдегиды, кетоны, фенолы, сажу, диоксиды серы и сероводород); тяжёлые металлы; канцерогенные полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), самый активный из которых – бенз[*a*]пирен; др. [3].

Для снижения загрязнения биосферы отработавшими газами транспорта Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) рекомендует переход на экологичные способы производства энергии, развитие скоростного городского транспорта, выпуск автомобилей с низким уровнем выбросов, а также применение более чистых видов топлива и др. [4].

По этой причине поиск технологии, позволяющей минимизировать вредные выбросы при работе двигателей внутреннего сгорания (ДВС), является актуальной задачей и основной целью данного исследования, тем более что традиционный электромобильный транспорт, в том числе рельсо-струнный, также имеет внешний (внебортовой) аналог ДВС – тепловую электростанцию, в которой сжигается топливо с использованием атмосферного кислорода как окислителя. Наряду с высоковольтными линиями электропередач и системами электрообеспечения подвижного состава (трансформаторные подстанции, контактная сеть, зарядные станции и др.) это может быть экологически более опасным, чем транспорт, оборудованный ДВС и снабжённый бортовым запасом экологически чистого топлива и кислорода в качестве окислителя.

Такой подход будет актуальным для высокоскоростного транспортного сообщения вдоль эстакады общепланетарного транспортного средства (ОТС), особенно на океанических участках протяжённостью около 10 000 км, где затруднительно либо не представляется возможным устройство высоковольтных линий электропередач и традиционных электростанций, а также использование магистральной авиации [1, 2, 5].

Влияние выхлопных газов на организм человека

Отравление атмосферы выбросами от работы ДВС (угарный газ, диоксиды, формальдегиды, тяжёлые металлы и др.) каждый год приводит к преждевременной смерти около 7 млн человек (по оценкам ВОЗ), разрушает живую оболочку Земли и угрожает принять необратимый характер [6].

Угарный газ (CO) образуется в результате неполного сгорания бензина. При вдыхании угарного газа происходит резкий дефицит кислорода за счёт необратимого связывания CO с гемоглобином, что может вызывать тошноту, головную боль, головокружение, мигрень, потерю сознания, а при тяжёлой степени отравления – смерть.

Диоксид азота (NO_2) является причиной заболеваний дыхательной системы, отличается высокой токсичностью. Данный газ бурого цвета с неприятным запахом раздражает слизистые оболочки дыхательных путей и влечёт за собой функциональные и патологические изменения. При длительном воздействии увеличивает риск смертности от сердечных и раковых заболеваний.

Диоксид серы (SO_2) при концентрации выше предельно допустимых значений может провоцировать болезни дыхательных путей (воспаление носоглотки, бронхиты и др.). Наиболее чувствительны к этому веществу люди, страдающие хроническими нарушениями органов дыхания, астмой.

Формальдегид (CH_2O) – токсичный газ с резким запахом. Проявляет раздражающее действие на глаза, лёгкие, слизистые оболочки, вызывает аллергические реакции, отрицательно сказывается на центральной нервной системе.

Свинец (Pb), содержащийся в некоторых добавках к топливу, при попадании в организм накапливается и негативно влияет на умственное развитие, поэтому особенно опасен для детей.

Углеводороды (CH_x) – группа высокотоксичных веществ, которые возникают в отработавших газах ДВС в результате пиролиза топлива.

ПАУ – канцерогенные вещества, имеющие свойство аккумулироваться в организме; приводят к образованию злокачественных заболеваний.

Бенз[*a*]пирен ($C_{20}H_{12}$) – самый высокотоксичный канцероген. Выделяясь с выхлопными газами, а затем оседая вдоль автомобильных дорог и проникая в почву и растения, он наносит непоправимый урон флоре и фауне. В больших городах уровень загрязнения бенз[*a*]пиреном превышает в 10–20 раз предельно допустимые значения. В сильной концентрации вызывает заболевания кровеносной системы, оказывает мутагенное, гематотоксическое и эмбриотоксическое действие [7].

Указанные выбросы характеризуют существующий транспорт, работающий на ДВС, как опасный и вредный для окружающей среды, подталкивая тем самым к широкому развитию во всём мире электротранспорта, который в свою очередь формирует другие комплексные проблемы, в том числе экологические. Эти негативные последствия могут стать для планеты ещё более серьёзными, если количество электромобилей достигнет современного числа транспортных средств с ДВС – порядка 1,5 млрд.

Причины низкой экологичности транспорта с ДВС

Неполное и неравномерное сгорание топлива в ДВС – основная причина загрязнения воздушного пространства. Только 15 % топлива затрачивается на движение автомобилей, остальное выбрасывается в атмосферу в виде выхлопных газов [8].

Для полного сгорания 1 кг бензина теоретически необходимо 14,7 кг воздуха (при условии использования идеального топлива – бензина, состоящего из н-гептана и изооктана). Значительная же часть основных видов топлива включает гептан, октан, другие алканы, добавки (в том числе моющие средства), оксигенаторы (метил-трет-бутиловый эфир или этанол/метанол), а также иные компоненты, что, следовательно, изменяет состав отработавших газов и смещает стехиометрическое равновесие в сторону увеличения вредных выбросов [9].

При работе двигателя количество воздуха может быть больше или меньше нужного, что характеризуется коэффициентом избытка воздуха α (соотношение действительного количества воздуха $L_д$, участвующего в процессе сгорания бензина, к теоретически необходимому $L_т$, т. е. $\alpha = L_д/L_т$).

Для разных режимов функционирования ДВС требуется определённая горючая смесь. Для разгона и движения с высокой нагрузкой подходит обогащённая смесь (α = 0,85... 0,95), которая развивает максимальную мощность за счёт высокой скорости горения. При средних нагрузках эффективна обеднённая смесь (α = 1,05... 1,15), обеспечивающая полное сгорание топлива и экономичную работу. Для холостого хода оптимальна богатая смесь (α = 0,7... 0,8), обуславливающая устойчивое воспламенение при низких оборотах и неполном наполнении цилиндров [10].

В двигателе протекают сложные и недостаточно изученные химические реакции, отчего зависит выход загрязняющих веществ в атмосферу. Наибольшее количество газов выделяется на холостом ходу при потреблении ДВС богатой смеси. Это треть, а иногда и половина всего времени работы автотранспорта в крупных городах (пробки, перекрёстки, светофоры).

Для образования оптимального состава смеси в ДВС производители оснащают автомобили современными системами, которые оценивают даже температуру двигателя и окружающего воздуха, корректируя характеристики впрыска.

Рабочий цикл четырёхтактного карбюраторного двигателя состоит из следующих стадий [11]: впуск рабочей смеси, сжатие рабочей смеси, рабочий ход, выпуск отработавших газов (рисунок).

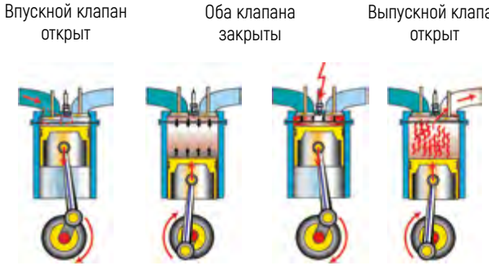


Рисунок – Рабочий цикл четырёхтактного карбюраторного двигателя:
а – впуск рабочей смеси; б – сжатие рабочей смеси;
в – рабочий ход (расширение газов); г – выпуск отработавших газов

Рабочая смесь во время четырёхтактового цикла за доли секунды претерпевает различные виды превращений:

- физические: от начального давления в 0,08–0,09 МПа и температуры в 60 °C (в конце первого такта) до 4 МПа и 2000 °C (в третьем такте, где происходит преобразование получаемой при сгорании энергии в механическую работу);
- химические: пиролиз, синтез (ПАУ), гидрогенизация и дегидрогенизация, полимеризация, др.

В результате выделяется множество продуктов химических реакций, среди которых практически все – продукты неполного и неравномерного окисления, что является главной причиной загрязнения воздуха. Соответственно, при повышении концентрации кислорода в смеси равновесие химических реакций сместится в сторону образования продуктов окисления, значит, смесь будет менее токсичной.

Состав вредных веществ в отработавших газах обуславливается характером протекания реакций, что в свою очередь зависит от качества топлива, технического состояния ДВС, мощности автомобиля, скорости его движения, расхода топлива, режима работы автомобиля. Огромное количество вредных веществ выбрасывается на холостом ходу.

При сжигании 1 л бензина образуется примерно 16 м^3 (16 000 л) смеси различных выхлопных газов, что является основанием судить о примерном количестве выбрасываемых в атмосферу вредных примесей. Для того чтобы сделать вывод о количестве выделяемых вредных веществ при одном выхлопе или за определённый промежуток времени всеми машинами, необходимо знать, сколько километров в день проезжает данный транспорт (с определённым объёмом двигателя, режимом работы и др.). Однако усреднённые цифры могут быть не только сильно приближёнными, но и вовсе ошибочными.

В таблице 1 приведён состав преобладающих отработавших газов основных типов двигателей – бензинового (с искровым зажиганием) и дизельного (с воспламенением от сжатия) [3].

Для оценки воздействия выхлопных газов на окружающую среду разработаны стандарты выбросов транспортных средств – законодательные требования, нормирующие предельные показатели выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и устанавливающие количественные ограничения на допустимое содержание конкретных загрязнителей воздуха, которые могут выделяться из определённых источников в течение определённых периодов времени. В разных регионах и странах стандарты выбросов различаются, однако главное предназначение таких норм – достижение высокого качества воздуха и защита жизни человека.

Для автомобилей в Европе первый экологический стандарт Euro введён в 1970 г. директивой 70/220/EEC, которая впоследствии неоднократно дополнялась. В США применяются стандарты Tier, основанные на первых законодательных актах 1955–1963 гг. с целью борьбы за чистый воздух. В СССР нормирование началось в 1970 г. (ГОСТ 16533-70).

В таблице 2 приведены требования экологических стандартов для легковых автомобилей с бензиновым или дизельным двигателем согласно Euro [12].

Представленные в таблице 2 требования разработаны с учётом наиболее типичных примесей при стандартизированных условиях функционирования двигателей. Однако в зависимости от состава атмосферы (газовый состав, запылённость), температуры и других факторов могут образовываться соединения, не входящие в данный перечень. Кроме того, не исключено, что выбросы вредных и опасных примесей будут превышены даже при соответствии транспортного средства стандартам.

Таблица 1 – Состав отработавших газов ДВС

Компонент	Концентрация компонентов в отработавших газах	
	Бензиновый двигатель	Дизельный двигатель
Азот (N_2), %	74–77	76–78
Кислород (O_2), %	0,3–8	2–18
Водяной пар (H_2O), %	3–5,5	0,5–9
Оксиды азота (NO_x), %	0,01–0,8	0,004–0,5
Монооксид углерода (CO), %	0,5–12	0,005–0,4
Углеводороды (CH_x), %	0,2–3	0,009–0,3
Бенз[*a*]пирен ($C_{20}H_{12}$), мкг/м^3	0–20	0,05–1
Сажа (C), г/м^3	0–0,04	0,01–1,1
Оксиды серы (SO_x), %	0–0,008	0,002–0,02
Альдегиды (RCHO), %	0–0,2	0,0001–0,002

Таблица 2 – Требования экологических стандартов

Класс	Дата введения	Вредные вещества в выхлопных газах, г/км					
		Углекислый газ	Углеводороды	Летучие органические вещества	Оксиды азота	Смесь углеводородов с оксидами азота	Взвешенные частицы
Дизельные двигатели							
Euro 1	Июль 1992 г.	2,72	–	–	–	0,97	0,14
Euro 2	Январь 1996 г.	1	–	–	–	0,7	0,08
Euro 3	Январь 2000 г.	0,64	–	–	0,5	0,56	0,05
Euro 4	Январь 2005 г.	0,5	–	–	0,25	0,3	0,025
Euro 5	Сентябрь 2009 г.	0,5	–	–	0,18	0,23	0,005
Euro 6	Сентябрь 2014 г.	0,5	–	–	0,08	0,17	0,005
Бензиновые двигатели							
Euro 1	Июль 1992 г.	2,72	–	–	–	0,97	–
Euro 2	Январь 1996 г.	2,2	–	–	–	0,5	–
Euro 3	Январь 2000 г.	1,3	0,2	–	0,15	–	–
Euro 4	Январь 2005 г.	1	0,1	–	0,08	–	–
Euro 5	Сентябрь 2009 г.	1	0,1	0,068	0,06	–	0,005
Euro 6	Сентябрь 2014 г.	1	0,1	0,068	0,06	–	0,005

Способы оптимизации процесса сгорания

Научные организации разных стран предлагают следующие методы совершенствования процессов сгорания:

- термофорсирование – предварительный прогрев топлива перед подачей его в цилиндр двигателя. Повышается качество распыливания топлива и сокращается период задержки воспламенения;
- введение присадок – добавление в топливо органических и элементоорганических соединений. Улучшается процесс сгорания топлива, уменьшаются детонация и токсичность отработавших газов;
- электростатическое облучение – обработка электрическим полем. Увеличивается скорость испарения капель, а также процессов дробления и окисления радикалов топлива и молекул токсичных окислов, в результате чего происходит более полное и интенсивное сжигание любого топлива. Однако этот метод сложно реализовать в двигателе;
- озонирование – использование озона в системе питания двигателей. Обеспечивается полное сгорание топлива. Вместе с тем имеется много недостатков: появление коррозии топливной аппаратуры и разложение горючей массы;
- применение водотопливных эмульсий. Обводнённость дизельного топлива увеличивает экономичность двигателей, снижает дымность, температуру и токсичность отработавших газов. Однако при низком качестве воды возникает коррозия и наблюдается существенный износ деталей двигателя и топливной аппаратуры;
- использование водяного пара – впрыск влажного пара или воды во впускной коллектор либо цилиндр. Уменьшается выброс вредных веществ, поскольку в пламени пар частично диссоциирует на водород и кислород, а также перерабатывает всю сажу в топливный синтез-газ;
- обработка топлива в катализаторах (катализатор гидрирования). Сокращается содержание поверхностно-активных веществ; увеличивается количество углеводородов парафинового ряда, что способствует более плавному протеканию процесса сгорания; значительно снижается количество окислов азота;
- обогащение топливовоздушной смеси кислородом. С ростом концентрации молекулярного кислорода ускоряется процесс сгорания топлива. Однако увеличиваются температура и максимальное давление в камере сгорания, что повышает нагрузку на двигатель;

• применение альтернативных видов топлива – метанола и природного газа, в продуктах сгорания которых отсутствуют сернистые соединения и сажа;

• задействование топлива высокого качества. С уменьшением содержания серы и углеводородов ароматического ряда снижается выброс вредных веществ в атмосферу [13].

Обратим внимание на один из наиболее перспективных видов топлива – биоэтанол, который получают из сельскохозяйственного сырья (картофель, сахарный тростник, кукуруза, сахарная свёкла, фрукты, отходы целлюлозно-бумажного производства) и который аккумулирует энергию солнца в процессе фотосинтеза. По своей экологической сути это солнечная энергетика. Уже в 1927 г. третье место в гонке Indianapolis 500 занял Л. Дюрей на автомобиле, работающем на этаноле [14]. С 1930 г. в Германии в бензин добавляли 5 % этанола, а с 1932 г. – 10 % этанола.

Во времена нефтяного кризиса 1970-х годов в Бразилии, благодаря субсидиям правительства в рамках программы Proálcool, началось развитие спиртовых автомобилей. В 1970-е годы в бензин добавлялось 20–25 % спирта; в 1980-е около 90 % проданных автомобилей работали на чистом спирте. Преимущества применения спиртовых двигателей очевидны. Этанол экологичнее нефти: при выращивании сахарного тростника, идущего на производство спирта, происходит потребление CO_2, являющегося парниковым газом, при сгорании этанола в двигателе выделяется меньше CO, что также является более экологичным процессом. Сахарный тростник представляет собой природное возобновляемое сырьё, использующее солнечную энергию (в отличие от нефти).

В результате осуществления указанной программы значительно сократилось загрязнение воздушного бассейна бразильских городов Сан-Паулу и Рио-де-Жанейро, уменьшился импорт нефти на 20 млрд USD/год, страна стала крупнейшим производителем и экспортёром этанола. С 1990-х годов в Бразилии началась разработка и реализация гибридных двигателей по технологии FFV (flex-fuel vehicle), способных функционировать как на бензине, так и на спирто-бензиновых смесях. Продвижение FFV-технологии стимулируют правительства многих стран (Австралия, Индия, Канада, Китай, США, Таиланд, Швеция, ЮАР). В 2005 г. в США FFV-двигателями было оборудовано более 5 млн транспортных средств, в конце 2006 г. эксплуатировалось 6 млн, а в 2008 г. мировой парк автомобилей с такими двигателями составлял более 20 млн [15].

Методы нейтрализации отработавших газов

Для нейтрализации отработавших газов ДВС созданы каталитические, термические, жидкостные, плазменные, комбинированные и другие методы обезвреживания.

При каталитической нейтрализации главным недостатком является необходимость регенерации катализатора, поскольку сажа забивает его активную поверхность, а серный ангидрид, взаимодействуя с носителем (оксид алюминия), образует сульфат алюминия, который в свою очередь также забивает поры, тем самым снижая эффективность нейтрализатора [16].

В термическом нейтрализаторе происходит доокисление токсичных соединений за счёт тепла отходящих газов. Нейтрализатор представляет собой теплоизолированную ёмкость со специально направленным течением отходящих газов; устанавливается в выпускной системе двигателя.

Получила широкое применение жидкостная нейтрализация – физико-химический метод воздействия на выхлопные газы. Через слой жидкости пропускают отработавший газ, охлаждая его до 40–80 °C. Растворимые в воде соединения выхлопных газов (оксиды серы, оксиды азота, альдегиды) нейтрализуются, дисперсные частицы (сажа и др.) улавливаются жидкостью, что способствует уменьшению интенсивности запаха выхлопов. Для повышения эффективности используются растворы сульфита натрия, карбоната натрия и гидрохинона, в результате чего улавливается даже бенз[*а*]пирен [17]. Недостаток жидкостного нейтрализатора – более существенная стоимость по сравнению с другими методами, поскольку он требует частой утилизации растворов и шлама, промывки системы и замены жидкости.

Плазменная нейтрализация отработавших газов заключается в очистке отходящих из двигателя токсичных компонентов низкотемпературной плазмой до менее вредных или вовсе безвредных соединений [18]. Низкотемпературная плазма создаётся при помощи барьерных, поверхностных, коронных, тлеющих и других электрических разрядов.

В последние годы активизировались попытки создания автомобилей с гибридной электромеханической силовой установкой [19], что позволяет признать такие транспортные средства экологичными, а значит, перспективными. Компания Toyota выпускает Prius, ставший первым в мире массовым гибридным автомобилем, который движется за счёт как бензинового, так и электрического двигателя. В гибридных автомобилях Toyota Mirai электрическую энергию вырабатывают топливные элементы, где водород окисляется кислородом, а выбросами является вода [20].

Способы повышения концентрации кислорода в топливной смеси ДВС

Обогащение топливовоздушной смеси кислородом – один из вариантов совершенствования процесса сгорания. Такой способ приводит к ускорению процесса окисления, а следовательно, к повышению температуры и максимального давления в камере сгорания двигателя. В итоге уменьшается количество выхлопных газов и усиливается мощность двигателя. Однако при этом увеличивается термическая напряжённость деталей цилиндро-поршневой группы и газовыпускного тракта и, как результат, снижается срок их службы.

Существуют следующие разновидности встроенных систем подачи кислорода:

• впрыск кислорода во впускной коллектор двигателя, где O_2 смешивается с топливовоздушной смесью перед сгоранием;

• впрыск кислорода в выпускной коллектор двигателя, где O_2 смешивается с выхлопными газами до их прохождения через каталитический нейтрализатор;

• интегрированный источник кислорода: O_2 вырабатывается внутри двигателя или выхлопной системы благодаря оксидации оксида церия (CeO_2) [21].

Преимущества данных методов: повышенная эффективность нейтрализации; сниженная потребность в платине; расширенный срок службы нейтрализатора. Недостатки: значительная сложность системы; потенциально более высокие эксплуатационные расходы (например, для систем впрыска кислорода); ограниченная применимость для двигателей с непосредственным впрыском (для систем впрыска кислорода во впускной коллектор).

Известно множество вариантов достижения максимальной эффективности введения кислорода:

• использование турбонаддува или нагнетателя. Создаётся принудительный наддув большего количества воздуха в двигатель, что обуславливает усиление концентрации кислорода в рабочей смеси;

• впрыск воды или пара во впускной коллектор. Приводит к испарению, которое охлаждает входящий воздух и увеличивает его плотность, что в свою очередь способствует повышению концентрации кислорода в топливной смеси;

• применение инновационных систем сгорания. Осуществляется стратифицированное впрыскивание и воспламенение с помощью свечей зажигания, тем самым обеспечивается более эффективное смешивание топлива и воздуха, а значит, более полное сгорание и более высокая концентрация кислорода в выхлопных газах;

• рециркуляция выхлопных газов. Часть выхлопных газов направляется обратно во впускной коллектор, что способствует снижению температуры сгорания и минимизации образования оксидов азота. Однако это может привести к некоторому уменьшению концентрации кислорода в топливной смеси;

• добавление в топливо кислородсодержащих соединений. Благодаря, например, перекиси водорода или нитрату натрия можно повысить концентрацию кислорода в топливной смеси.

Кроме того, существуют встроенные системы подачи кислорода, которые вводят O_2 непосредственно в выхлопные газы для усиления эффективности каталитического нейтрализатора. Выбор подходящего метода зависит от конкретных требований применения, таких как тип ДВС, желаемая производительность и ограничения по выбросам.

Варианты оптимизации условий работы двигателя со встроенным источником кислорода – выполнение нижеприведённых рекомендаций по отдельности и в комплексе:

• добавление этанола (10–20 %) в бензин, что позволит за счёт большей экологичности биотоплива снизить температуру работы ДВС, а также количество вредных выбросов [22];

• использование катализаторов горения топлива (например, «ИОН-Б», MPG-CAPS, MPG-BOOST) для повышения экологичности [23, 24];

• замена платиновых катализаторов на альтернативные для очистки выхлопных газов, что обеспечит лучшую эффективность при усилении концентрации кислорода в выхлопных газах. Такой подход удешевит систему очистки выхлопных газов [25].

В качестве основных источников кислорода предлагается рассмотреть варианты использования сжиженного кислорода, кислородного концентратора, перекиси водорода или воды.

Криоцистерна со сжиженным кислородом представляет собой бак со слоем теплоизолирующего материала, выдерживающий высокое давление, что позволяет увеличить запас хода транспортного средства без необходимости частой дозаправки. Сжиженный кислород обеспечивает усиленную концентрацию кислорода по сравнению с воздухом. Это приводит к более полному сгоранию топлива и повышению мощности и эффективности. В результате уменьшаются выбросы оксидов азота и угарного газа. Недостаток – необходимость хранения кислорода при пониженных температурах (–183 °C). Кроме того, требуются высокоточные системы впрыска, способные выдерживать экстремальные температуру и давление.

Кислородный генератор [26] – устройство, которое вырабатывает кислород из окружающей среды. К его преимуществам относится отсутствие сложной системы впрыска топлива, так как генератор сам обеспечивает чистый кислород, который можно смешивать с топливом непосредственно перед сгоранием. Однако генераторы имеют большой размер и значительную массу, а также дороги в обслуживании.

Перекись водорода (50 %), являясь окислителем, разлагается с помощью катализаторов, выделяя значительное количество теплоты и воду, которая во время реакции превращается в пар, а в смеси с атомарным кислородом образует парогаз, достигающий температуры 700–800 °C (пример использования – двигатели Вальтера).

В таблице 3 приведены варианты снабжения транспортного средства кислородом при полном сжигании топлива.

Таблица 3 – Сравнительная характеристика вариантов источника кислорода в автомобиле

Источник кислорода	Преимущества	Недостатки
Криоцистерна со сжиженным кислородом (бак)	Отсутствие реагентов	Использование сжиженного газа
Кислородный генератор	Нет необходимости в заправке	Потребление электроэнергии
Перекись водорода (50 %)	Отсутствие избыточного давления	Необходимость в балласте в виде воды (50 %)

Таким образом, существенного повышения степени сжигания топлива и, соответственно, снижения концентрации вредных и опасных выбросов в дымовых газах можно достичь при меньшем расходе O_2, когда он применяется совместно с кислородом воздуха.

Использование встроенного источника кислорода для очистки выхлопных газов

В настоящее время проводятся интенсивные исследования в области использования встроенных источников кислорода для очистки выхлопных газов. Ключевые направления:

- разработка более эффективных и экономичных систем подачи кислорода;
- изучение влияния встроенных источников кислорода на производительность двигателя и выбросы;
- создание интегрированных систем очистки, которые объединяют встроенный источник кислорода с другими технологиями, такими как системы улавливания сажи, рециркуляции выхлопных газов.

Использование встроенного источника кислорода с целью очистки отработавших газов – перспективное решение с целью снижения выбросов транспортных средств. Данная технология имеет ряд преимуществ:

- повышенная эффективность нейтрализации. Дополнительный кислород в выхлопных газах обеспечивает оптимальное функционирование каталитического нейтрализатора, обуславливает более полную нейтрализацию вредных загрязняющих веществ – оксидов азота и углеводородов;
- незначительная потребность в дорогостоящих металлах при производстве катализаторов. Добавление кислорода снижает температуру, необходимую для работы каталитического нейтрализатора, что позволяет использовать меньшее количество дорогостоящей платины в его конструкции;
- увеличенный срок службы нейтрализатора. Повышенная эффективность нейтрализации способствует продлению срока службы каталитического устройства, что приводит к снижению затрат на техническое обслуживание.

Заключение

На основе анализа факторов, влияющих на химический состав топлива и условия его сгорания, авторами предлагается концепция использования жидкого кислорода для снижения антропогенного воздействия на окружающую среду выхлопных газов ДВС. Для автомобиля с 50-литровым баком объём необходимого кислорода составит около 114 л, масса заполненной кислородом криоцистерны – 200 кг. Это, например, в 1,9 раза меньше массы батареи электромобиля Tesla Model 3 (с учётом обвязки – 478 кг) при энергоёмкости в 2,5 раза большей (ёмкость батареи Tesla – 80,5 кВт·ч).

Возможно добавление этанола в бензин для снижения рабочих температур в камере сгорания и повышения ресурса ДВС. Кроме того, предлагается использовать присадки, которые сокращают расход бензина на 6 % и увеличивают ресурс двигателя. ДВС может работать на чистом этаноле или метане, например, в гиперскоростном форвакуумном тоннеле, заполненном разрежённым метаном в качестве источника топлива (в транспортном средстве на борту необходим только встроенный источник кислорода, а топливо будет поступать из тоннеля с помощью газозаборника).

Применяя данную схему работы ДВС, уже при текущем развитии технологий можно уменьшить количество опасных выбросов на 40–60 % (в форвакуумном тоннеле – на 100 %, поскольку выхлопные газы локализуются в тоннеле и не выбрасываются в атмосферу), повысить ресурс двигателя на 3–5 %. При этом масса транспортного средства уменьшится по сравнению с электромобилем.

Встроенные источники кислорода для очистки выхлопных газов способны снизить выбросы традиционного транспорта с ДВС. Предлагаемая технология обеспечивает ряд преимуществ: повышенную эффективность нейтрализации, незначительную потребность в дорогостоящих металлах при производстве катализаторов, увеличение срока службы нейтрализатора. Наличие встроенного источника кислорода позволит проводить восстановление функциональности платиновых катализаторов.

Дальнейшие исследования и разработки в данной области будут направлены на совершенствование и коммерциализацию этой многообещающей технологии для использования в высокоскоростной логистике экваториального линейного города, в первую очередь на океанических участках вдоль взлётно-посадочной эстакады ОТС.

Список основных источников

1. *Юницкий, А.Э. Цивилизационная ёмкость космического дома по имени Планета Земля [Электронный ресурс] / А.Э. Юницкий. – М.: Мир науки, 2022. – Режим доступа: https://izd-mn.com/PDF/08MNNPM22.pdf?ysclid=la98apfobr284127861. – Дата доступа: 09.07.2024.*
2. *Юницкий, А.Э. Исторические предпосылки программы SpaceWay как единственного пути устойчивого развития цивилизации технократического типа / А.Э. Юницкий // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 23–29.*
3. *Альферович, В.В. Токсичность двигателей внутреннего сгорания: учеб.-метод. пособие для студентов: в 2 ч. / В.В. Альферович. – Минск: БНТУ, 2016. – Ч. 1: Анализ состава отработавших газов. – 56 с.*
4. *Загрязнение атмосферного воздуха (воздуха вне помещений) и здоровье человека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health. – Дата доступа: 09.07.2024.*
5. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.*
6. *Юницкий, А.Э. Отбор производств для их переноса в ближний космос / А.Э. Юницкий, А.Г. Климков // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы IV междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 18 сент. 2021 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2022. – С. 137–147.*
7. *Абдурахманова, Э.Г. Влияние выхлопных газов на организм человека [Электронный ресурс] / Э.Г. Абдурахманова. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-vyhlopnyh-gazov-na-organizm-cheloveka. – Дата доступа: 08.07.2024.*
8. *Мануковский, А.Ю. Влияние автомобильного комплекса на экологическую безопасность придорожных территорий в городских условиях / А.Ю. Мануковский, Ю.А. Макарова, Д.А. Макаров // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. – Т. 2, № 3-1 (8-1). – С. 286–291.*
9. *Радченко, Н.Д. Исследование и моделирование эксплуатационных характеристик моторных топлив: магист. дис.: 18.04.01 / Н.Д. Радченко. – Томск, 2021. – 128 л.*
10. *Гладов, Г.И. Устройство автомобилей: учеб. для студ. учреждений сред. проф. образования / Г.И. Гладов, А.М. Петренко. – 6-е изд., стер. – М.: Изд. центр «Академия», 2017. – 352 с.*
11. *Курпатин, И.Э. Методическая разработка по теме: «Рабочий цикл четырёхтактного двигателя» / И.Э. Курпатин. – Могилёв, 2018. – 33 с.*
12. *Исследование влияния перехода автомобильного транспорта на экологический стандарт «Евро-5» на воздушный бассейн города / Н.Н. Вершинин [и др.] // Надёжность и качество сложных систем. – 2017. – № 2 (18). – С. 83–89.*
13. *Панов, В.С. Способы снижения токсичности отработавших газов поршневых двигателей / В.С. Панов, А.С. Курников // Вестник ВГАВТ. – 2009. – № 27. – С. 83–97.*
14. *Ethanol Fuel [Electronic resource]. – Mode of access: https://en.wikipedia.org/wiki/Ethanol_fuel#cite_note-110. – Date of access: 15.04.2024.*
15. *Беляев, С.В. Прогресс и перспективы применения топливного этанола на транспорте [Электронный ресурс] / С.В. Беляев, Г.А. Давыдков. – Режим доступа: https://sciup.org/progress-i-perspektivy-primenenija-toplivnogo-jetanola-na-transporte-14749650?ysclid=m6rv7pxna7737385607. – Дата доступа: 15.04.2024.*

16. *Катализатор для обработки выхлопного газа: пат. RU 2640411 C2 / Г.Р. Чэндлер, А.Н.М. Грин, П.Р. Филлипс, С.Д. Рид. – Опубл. 09.01.2018.*
17. *Леончук, Я.С. Анализ методов очистки газовых выбросов двигателями внутреннего сгорания [Электронный ресурс] / Я.С. Леончук. – Режим доступа: https://masters.donntu.ru/2002/feht/leonchuk/disserta.htm. – Дата доступа: 15.04.2024.*
18. *Плазменный нейтрализатор токсичных газов: пат. RU 199195 U1 / О.А. Поваляев, А.Ю. Павлов, Я.А. Тодоренко, С.А. Фроловичев. – Опубл. 21.08.2020.*
19. *Перспективы развития автомобилей с гибридной силовой установкой / М.В. Сидоров [и др.] // Международный журнал перспективных исследований. – 2020. – Т. 10, № 1. – С. 67–80.*
20. *Капустин, А.А. Сравнение выбросов загрязняющих веществ от автомобилей и различных энергетических установок / А.А. Капустин, В.А. Раков // Транспорт на альтернативном топливе. – 2017. – № 6 (60). – С. 53–60.*
21. *Способы селективного каталитического восстановления с использованием легированных оксидов церия (IV): пат. RU 2664905 C2 / Д.Э. Коллиер, Д.М. Фишер, Р. Раджарам, Д. Томпсетт. – Опубл. 23.08.2018.*
22. *Ерохов, В.И. Новая концепция применения спиртов в качестве альтернативного моторного топлива / В.И. Ерохов // Транспорт на альтернативном топливе. – 2010. – № 3 (15). – С. 55–61.*
23. *Катализатор горения бензина «ИОН-Б» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ion.by/product/prisadka-ion-b/. – Дата доступа: 15.04.2024.*
24. *Жидкий биокатализатор горения топлива MPG BOOST [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ffi-bizz.wixsite.com/ffi-biz/mpg-boost. – Дата доступа: 20.05.2024.*
25. *Богодаев, А.А. Оценка влияния присадок к бензину на расход топлива автомобилей / А.А. Богодаев, К.О. Козицкий // Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: сб. тр. VII всерос. науч.-практ. конф. для студентов и учащейся молодежи, Юрга, 7–9 апр. 2016 г.: в 2 т. – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – Т. 1. – С. 266–268.*
26. *Чистый генератор кислорода IMT PO [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.directindustry.com.ru/prod/inmatec-gasetechnologie/product-41127-1633993.html. – Дата доступа: 23.11.2023.*



Секция

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЗАМКНУТЫХ ЭКОСИСТЕМ БИОСФЕРНОГО ТИПА НА ЗЕМЛЕ И В КОСМОСЕ



УДК 631.427.3+629.7

Биотехнологическое восстановление пустынь как способ предотвращения продовольственных и энергетических проблем

А.Э. Юницкий[1, 2]
доктор философии транспорта

Н.С. Зыль[2]

А.М. Павлюченко[2]

М.М. Парфенчик[2]

[1] ООО «Астроинженерные технологии»,
г. Минск, Беларусь

[2] ЗАО «Струнные технологии»,
г. Минск, Беларусь

Сегодня темпы деградации земель нарастают из-за различных антропогенных и техногенных факторов. В результате расширения границ песчаных пустынь человечество теряет значительные сельскохозяйственные площади, которые могут использоваться для выращивания энергетических, плодовых и технических культур, разведения скота, постройки городов.

Восстановление плодородия почв – один из ключевых пунктов глобальной программы «ЭкоМир», в которой инженер А.Э. Юницкий даёт цельную картину здорового мира, процветающей человеческой цивилизации и родной планеты для будущих поколений.

Предложенные в данной работе биотехнологии восстановления плодородия почв могут применяться для улучшения экономической и экологической обстановки в регионах с затруднённым ведением сельского хозяйства, а также для повышения качества земель, которые будут задействованы при строительстве эстакады общепланетарного транспортного средства, экваториального линейного города, трасс рельсо-струнного транспорта и экодомов на планете Земля, а в будущем – при эксплуатации ЭкоКосмоДомов в ближнем космосе.

Ключевые слова:
биогумус uTerra, биотехнологии, восстановление пустынь, гумус, сидераты, ЭкоМир, энергетические культуры.

UDC 631.427.3+629.7

Biotechnological Restoration of Deserts as Method to Prevent Food and Energy Crises

A. Unitsky[1, 2]
Dr. of Philosophy
in Information Technologies
(Transport)

N. Zyl[2]

A. Pauliuchenka[2]

M. Parfenchyk[2]

[1] Astroengineering Technologies LLC,
Minsk, Belarus

[2] Unitsky String Technologies Inc.,
Minsk, Belarus

Today, the rates of land degradation increase due to various natural and anthropogenic factors. The expansion of sandy deserts leads to the loss of fertile land that could otherwise be used for cultivating energy, fruit and technical crops as well as for livestock farming and urban development.

The restoration of soil fertility is a cornerstone of the global EcoSpace program, conceptualized by engineer A. Unitsky. This visionary initiative presents a comprehensive framework for a sustainable and prosperous human civilization, ensuring the health of our planet for future generations.

The biotechnologies of soil fertility restoration, proposed in this study, can be used to improve the economic and environmental situation in regions with challenging agricultural conditions, as well as to enhance the quality of land that will be used in the construction of the General Planetary Vehicle overpass, Equatorial Linear City, string rail transport routes and ecohouses on Earth and, eventually, in the utilization of EcoCosmoHouses in near space.

Keywords:
biotechnologies, cover crops, EcoSpace, energy crops, humus, restoration of deserts, uTerra biohumus.

Введение

Около 4,5–4,6 млрд лет назад [1] вся наша планета была необитаемой сплошной раскалённой пустыней, которую впоследствии простейшие организмы преобразовали в место, комфортное для проживания миллиардов видов живых существ, в том числе и человека, – они создали биосферу. При этом ключевой её составляющей в ходе эволюции стала живая плодородная почва, площадь которой в современных условиях повсеместно резко сокращается.

Опустынивание (деградация) земель – процесс, приводящий к снижению их плодородия. Возникновение пустынь является предпосылкой для ускорения деградации почв в данной локальной экосистеме, т. е. этот процесс считается автокаталитическим. В общем случае снижение популяции какого-либо вида живых организмов запускает такое изменение трофических цепей, которое в итоге вызывает формирование пустынной флоры, фауны и микробного сообщества. Вместе с тем многие пустынные виды живых организмов уникальны и должны быть сохранены.

Вести сельское хозяйство, производить пищевую и энергетическую продукцию более выгодно в тропическом и субтропическом климате, при наличии источников воды и необходимых для плодородия макро- и микроорганизмов, а также при определённом содержании в почве органического вещества и минеральных соединений.

На фоне развития современных технологий многие страны сталкиваются с нехваткой продовольствия и воды, загрязнением окружающей среды [2]. Часть этих проблем обусловлена возрастающим опустыниванием вследствие водной и ветровой эрозии, засоления почв, хозяйственной деятельности человека, чрезмерного и/или неправильного использования агрохимикатов. Несмотря на то что влияние эрозии не является антропогенным фактором, оно может быть снижено путём специальных мелиоративных приёмов.

Превратить песчаные почвы в плодородные и покрыть потребности цивилизации в электроэнергии и тепле возможно за счёт получаемой поверхностью Земли световой энергии (после преобразования – около 1 кВт·ч/м^2 в сутки [3]), что может быть выполнено при помощи сидератов (зелёные удобрения) и быстрорастущих энергетических культур, а также после восстановления почв путём применения биоудобрений на основе современной органики, бурого угля, горючих сланцев [4], имеющих минеральный состав реликтовых растений, и продуктов их сжигания (дымовые газы и золошлаковые отходы). При комплексной переработке бурого угля и другого ископаемого топлива (каменный уголь, горючие сланцы, торф) и использовании отходов их сжигания с получением в результате органических удобрений может быть достигнут положительный экономический эффект.

Энергетические культуры, выращенные на почве, последовательно восстановленной при помощи внесения органических удобрений и сидератов, затем перерабатываются в сырьё для сжигания – пеллеты, этиловый спирт или биодизель. Побочные продукты могут задействоваться в сельском хозяйстве, а также для преобразования пустынь, формируя тем самым безотходный и неисчерпаемый цикл применения солнечной энергии.

В статье авторами проводится обзор факторов, вызывающих деградацию земель, рассматривается характеристика пустынь, обосновывается необходимость их восстановления для последующего выращивания энергетических культур. Проанализированы результаты лабораторного эксперимента по созданию плодородной почвы из песчаной, поставленного в ЗАО «Струнные технологии» (г. Минск, Беларусь), показана эффективность разработанной методики, оценено количество электроэнергии, которое можно получить с помощью данной технологии.

Роль пустынь в биосфере Земли

Деградированных почв на нашей планете насчитывается более 2 млрд га. Из них 55,6 % образовалось в результате водной эрозии, 27,9 % – ветровой эрозии, 12,2 % – химической и биологической деградации, 4,3 % – физического уплотнения и подтопления. По критериям ФАО (Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН) и ЮНЕСКО засушливые территории делятся на четыре категории:

- экстрааридные (количество осадков меньше 100 мм);
- аридные (100–200 мм);
- полуаридные (200–400 мм);
- недостаточного увлажнения (400–800 мм).

Краткая справка по крупнейшим пустыням [5] приведена в таблице 1.

Хотя Антарктическая и Арктическая полярные пустыни соответствуют определению пустыни как области с годовым количеством осадков менее 250 мм, в данной статье они не рассматриваются.

Ежегодно из мирового оборота, по разным оценкам, выбывает от 8 до 20 млн га земель (для сравнения: площадь Республики Беларусь составляет 20,8 млн га). Однако влияние пустынь на биосферу планеты не ограничивается только негативными аспектами.

Таблица 1 – Характеристики наиболее крупных пустынь

Название	Площадь, км^2	Тип	Регион
Антарктическая пустыня	14 200 000	Полярная	Антарктида
Арктическая пустыня	13 900 000	Полярная	Пустынные территории Арктики на Аляске, в Канаде, Гренландии, России, Исландии
Сахара	9 200 000	Тропическая	Алжир, Чад, Египет, Ливия, Мали, Мавритания, Марокко, Нигер, Судан, Тунис, Западная Сахара
Пустыня Аравийского полуострова	2 330 000	Тропическая	Саудовская Аравия, Иордания, Ирак, Кувейт, Катар, ОАЭ, Оман, Йемен
Гоби	1 300 000	Субтропическая	Саудовская Аравия, Иордания, Ирак, Кувейт, Катар, ОАЭ, Оман, Йемен
Калахари	900 000	Субтропическая	Монголия, Китай
Патагонская пустыня	673 000	Субтропическая	Ангола, Ботсвана, Намибия, ЮАР
Большая пустыня Виктория	647 000	Субтропическая	Австралия
Сирийская пустыня	520 000	Субтропическая	Сирия, Иордания, Ирак
Пустыня запада США	492 000	Субтропическая	США

Отрицательные стороны пустынь:

- невозможность ведения сельского хозяйства ввиду неподходящих агроклиматических условий;
- неприспособленность для жизни: необходимы существенные затраты для обеспечения комфортного проживания людей;
- песчаные и пыльные бури, возникающие в засушливых районах, вызывают серьёзные повреждения инфраструктуры, представляют опасность для населения;
- прогрессирование опустынивания: наличие пустынь в регионе и неправильное управление земельными ресурсами приводят к ещё большему распространению деградации почв.

Положительные стороны пустынь:

- место обитания уникальных растений и животных – эндемичных видов;
- источник минералов для морских организмов: перенос минералов из пустынь в моря и океаны обеспечивает необходимыми элементами питания морские организмы [6];
- особые природные условия: отсутствие светового загрязнения делает пустыни идеальной площадкой для астрономических исследований.

Причины опустынивания

Опустынивание возникает в результате сложного взаимодействия между природными (засуха, водная и ветровая эрозия, засоление почв, деградация растительности и др.) и антропогенными факторами (загрязнение почвы и воды сельскохозяйственными и производственными химикатами, механическая обработка полей и др.). По некоторым данным, 87 % причин, вызывающих опустынивание, приходится на антропогенные и только 13 % – на естественные [7].

Деградацию земель по характеру воздействия подразделяют на физическую, химическую и биологическую [8, 9]. Чаще всего присутствует несколько или даже все три типа факторов (таблица 2).

Факторы снижения плодородия почв оказывают взаимоусиливающее влияние, в целом негативно сказываются на биосфере всей планеты и дестабилизируют экономику в затронутых регионах, вызывая голод, нищету, болезни. В период с 1968 по 1973 г. опустынивание стало серьёзной проблемой в Сахельской зоне Африки из-за продолжительной засухи. Оно разрушило экономику и социальную сферу многих стран региона, включая Мавританию, Сенегал, Мали, Нигер и Чад. Сильно пострадало сельское хозяйство, в частности животноводство и неполивное земледелие. Без кормовой базы и воды погибли большие стада скота, а неурожай продовольственных культур привёл к катастрофическим последствиям. Более 250 000 жителей Сахельской зоны умерли от голода. Опустынивание в этом регионе продемонстрировало разрушительное воздействие засухи и других факторов деградации почвы на уязвимые экосистемы и зависящие от них человеческие сообщества.

Таблица 2 – Факторы опустынивания

Физические	Химические	Биологические
Удаление верхнего слоя почвы (некорректно спланированная ирригация, отсутствие отвода осадков, избыток стоков). Локальное переувлажнение (подъём грунтовых вод, неправильное орошение, подтопление территорий водохранилищами). Дефляция (выдувание ветром частиц почвы). Переуплотнение и образование техногенной глыбистости пахотных горизонтов (механическая обработка физически спелой почвы). Выпахивание / замена кальция на натрий, низкое содержание гумуса. Потеря земель при строительстве, прокладке дорог, добыче полезных ископаемых	Накопление отходов деятельности промышленных предприятий (производственные отходы химических, нефтяных, цементных, сталелитейных и других заводов). Отходы деятельности электростанций на твёрдом топливе (золошлаковые отходы, летучая зола и др.). Бытовые отходы (ТБО, коммунальные стоки). Загрязнение почвы агрохимикатами (пестициды, инсектициды, акарициды, фунгициды и др.). Выбросы, связанные с транспортными средствами и инфраструктурой (выхлопные газы, продукты износа дорожного полотна и шин, антиобледенительные соли и др.)	Сокращение численности, видового разнообразия и нарушение оптимального соотношения макро- и микроорганизмов из-за изменения агроклиматических условий, использования минеральных удобрений и агрохимикатов, а также ввиду шумового загрязнения почвы [10]. Загрязнение почвы патогенными микроорганизмами, ухудшение санитарно-эпидемиологических показателей (применение непереработанных органических отходов, захоронение ТБО). Снижение содержания гумуса. Уменьшение содержания питательных веществ в почве (вынос с сельскохозяйственной продукцией, из-за низкой буферной ёмкости и др.)

Цели биотехнологического восстановления пустынных почв

При формировании устойчивого биогеоценоза на ранее пустынной территории возможно повышение плотности населения, ведение производящего и охотничьего хозяйства. Приоритетность направлений использования преобразованных земель необходимо определять в каждом конкретном случае, для максимального эффекта понадобится севооборот с учётом состава почв, климатических условий и потребностей в растительной продукции. В качестве основных целей восстановления плодородия пустынных почв с применением биотехнологий предлагается выделить:

- ведение энергетического земледелия – мелиорированные почвы используются для выращивания энергетических культур (таблица 3), выносливых к высоким температурам, засухе, вредителям и служащих для производства древесины, спирта, биодизеля;
- обеспечение продовольствием – восстановленные пустынные почвы увеличивают площадь земли, доступной для получения сельскохозяйственных культур;
- создание комфортной среды обитания для человека – при формировании устойчивого биогеоценоза на ранее пустынной территории возможно повышение плотности населения благодаря жилой и промышленной застройке и прокладке новых логистических маршрутов.

Представленные в таблице 3 культуры могут выступать в качестве энергетического сырья, в том числе для получения электроэнергии. При этом золошлаковые отходы и углекислый газ, образующиеся при их сжигании, применимы для культивирования растений (зола – в составе подкормок, углекислый газ – для ускорения процессов фотосинтеза). Отходы производства спирта и биодизеля (спиртовая барда, рапсовый и тростниковый шрот и др.) могут использоваться как добавки в комбикорм, органические удобрения. Биомасса заделывается в почву в качестве зелёного удобрения.

На основе данных о выходе целевых продуктов с 1 га и о КПД производства электроэнергии и энергопотребления в регионе можно провести ориентировочный расчёт среднего количества гектаров деградированных почв, необходимых для выращивания энергетических культур с целью обеспечения электроэнергией Республики Беларусь.

Энергопотребление Беларуси за 2023 г. составило приблизительно 41 млрд кВт·ч. Примем, что урожайность деградированных земель равна 50 % урожайности плодородных. Рассчитаем нужную площадь восстановления пустынной почвы для различных культур.

Таблица 3 – Характеристики энергетических культур

Культура	Тип сырья	Выход сырья, тонн/га в год	Теплотворная способность, МДж/кг	Теплотворная способность с 1 га в год, ГДж
Павловния	Древесина	До 30	20	До 600
Сахарный тростник	Этанол	До 7,5	30,6	До 230
Сахарное сорго	Этанол	До 5	30,6	До 153
Рапс	Биодизель	До 1	37,6	До 37,6
Сахарная свёкла	Этанол	До 10	30,6	До 306

Теплотворная способность спирта, полученного с 1 га сахарного сорго:

$$50\ \% \times 153\ \text{ГДж} = 76{,}5\ \text{ГДж}.$$

Поскольку 1 ГДж = 278 кВт·ч, то при 100 % КПД с 1 га в год можно произвести:

$$278\ \text{кВт}\cdot\text{ч} \times 76{,}5 = 21\,300\ \text{кВт}\cdot\text{ч}.$$

При получении электроэнергии из этилового спирта КПД генератора составит около 40 %. Тогда количество электрической энергии с 1 га в год будет равно:

$$21\,300\ \text{кВт}\cdot\text{ч} \times 40\ \% = 8520\ \text{кВт}\cdot\text{ч}.$$

Для получения 41×10^9 кВт·ч потребуется:

$$41 \times 10^9\ \text{кВт}\cdot\text{ч} / 8520\ \text{кВт}\cdot\text{ч} = 4{,}8\ \text{млн га}.$$

При аналогичном применении павловнии в виде пеллет для ТЭЦ с электрическим КПД, равным 26 % [11], необходимая площадь посевов составит 1,9 млн га.

В случае культивирования сахарного тростника с последующим производством спирта в качестве топлива для генератора с КПД 40 % нужно восстановить 3,2 млн га.

При использовании биодизеля из рапса для генерирования электроэнергии с КПД 30 % необходимая площадь посевов достигнет 31,4 млн га.

В случае выращивания сахарной свёклы с последующим производством спирта в качестве топлива для генератора с КПД 40 % потребуется 2,4 млн га восстановленных земель.

Усреднённая площадь посевов для данных пяти перспективных энергетических культур – 8,7 млн га, что эквивалентно примерно 40 % территории Республики Беларусь. То есть только за счёт восстановления ежегодно выбывающих из сельскохозяйственного оборота почв можно обеспечить страну энергетическим сырьём, попутно получив ценные материалы (при выращивании павловнии – древесину; при выращивании других культур – кормовую базу для сельскохозяйственных животных).

Положительным результатом производства энергетических культур на восстановленных землях будет также снижение зависимости от ископаемого топлива и обеспечение возобновляемыми источниками энергии. При этом побочные продукты переработки данных растений полностью используются, что позволит эффективно преобразовывать солнечную энергию в любой другой вид (тепловая, механическая или электрическая), одновременно улучшая природно-климатические характеристики биосферы нашей планеты, создавая больше сельхозугодий (в севообороте могут применяться различные культуры, например пищевые и кормовые) и комфортную среду обитания не только для человека, но и для миллионов видов других живых организмов – представителей флоры и фауны, в том числе микрофлоры и микрофауны.

При совмещении выращивания энергетических культур и восстановления пустынных почв будет преодолён такой недостаток энергетического земледелия, как рост стоимости продуктов питания в регионе вследствие конкуренции за площади с пищевыми культурами.

Приведённый расчёт можно дополнить разными факторами: агроклиматические условия каждой конкретной территории, существующая техническая и энергетическая база, сложность переработки энергетического сырья, востребованность побочных продуктов.

Из минусов технологии нужно отметить необходимость повышения КПД систем применения энергетических культур, проведения исследований для её оптимизации, а также более сложную относительно ископаемых видов топлива цепочку получения энергетического сырья.

Пути сохранения плодородия и восстановления пустынь

Если проанализировать количество пустынных почв, а также ресурсов (водные, органические и минеральные), которые необходимы для их восстановления, то можно сделать вывод, что для обеспечения экономической целесообразности данных мероприятий потребуется применение живых организмов и создание для них определённых условий. Для предупреждения экологических проблем следует проработать вопросы снижения нагрузки на Землю от транспортной, энергетической, производственной и жилищной инфраструктуры, что уже теоретически глубоко изучено и практически реализуется ЗАО «Струнные технологии».

Решения ЗАО «Струнные технологии» во всём своём многообразии изначально экологичны и направлены на сохранение окружающей среды, они являются природными, т. е. биосферными, а не природоподобными. Например, на территории Крестьянского (фермерского) хозяйства «Юницкого» (КФХ «Юницкого», г. Марьина Горка, Беларусь) выращиваются лекарственные травы непосредственно под путевой структурой рельсо-струнного транспорта. Специалистами созданы эффективные технологии органического сельского хозяйства, при этом многие биотехнологические разработки применимы и для восстановления плодородия пустынных почв [12–14].

В частности, проведены исследования, цель которых выделить из различных источников уникальные полезные почвенные микроорганизмы (азотфиксирующие и фосфатсолюбилизирующие бактерии, бактерии-биодеструкторы бурого угля и др.), которые могут быть использованы для восстановления бедных и неплодородных земель [15]. Осуществлён подбор оптимального микроклимата для оранжерей, параметров освещения и режима полива для отдельных культур [16], изучены механизмы взаимодействия биогенных элементов в условиях замкнутых экосистем в рамках проекта ЭкоКосмоДома. На основании достигнутых результатов можно решить проблему сезонности при культивировании растений традиционными способами, снизить водопотребление и сократить выбросы и затраты за счёт преобразования биомассы и вторичных водных ресурсов в эффективные органические удобрения. Кроме того, в ходе исследований создавались и анализировались малые замкнутые экосистемы.

Производимые ЗАО «Струнные технологии» эликсир плодородия uTerra и биогумус uTerra – это биоудобрения из органического сырья, в которых содержатся агрономически ценные ассоциации микроорганизмов, полученные из уникального мирового Банка почв, а также органоминеральный комплекс макро-, микро- и ультрамикроэлементов для питания растений. Данные продукты эффективны для всех типов почв и могут применяться для пустынных земель при их комплексной обработке и восстановлении.

При реализации перечисленных биотехнологий возможно предотвращение опустынивания и развитие сельского хозяйства в регионах, где оно является затруднительным из-за сложившихся агроклиматических условий.

Биотехнология поэтапного восстановления на примере песчаной почвы ОАЭ

Ниже описана методика восстановления песчаных пустынных почв при помощи биотехнологий. На первой стадии проводится внесение необходимого количества биогумуса uTerra, на второй – выращивание сидератов с их последующей заделкой и внесением меньших доз удобрения.

Благодаря совмещению технологий использования сидератов и биогумуса uTerra планируется повысить количество гумуса и элементов питания растений в почве, улучшить её гранулометрический состав, воздухопроницаемость и влагоёмкость.

Исходные данные

Общая площадь территории ОАЭ – 83 600 км^2. Значительную её часть занимают песчаные пустыни (рисунок 1), в частности Руб-эль-Хали, и солончаки.

Рассмотрим физические и химические свойства наиболее распространённой песчаной почвы ОАЭ (проба с участка SWIG, г. Рас-эль-Хайма) (таблица 4) и сравним их с российским чернозёмом (таблица 5).



Рисунок 1 – Почва ОАЭ (деградированный участок)

Таблица 4 – Физико-химические показатели песчаной почвы ОАЭ

Показатели	Фактическое значение
Основные	
Гумус (органическое вещество), % по массе	0,01
Азот общий, % по массе	0,03
Фосфор общий, % по массе	0,02
Калий общий, % по массе	0,6
pH	8,8
Дополнительные	
Аморфный диоксид кремния, ммоль/кг	10
Сера, сульфиды и сульфаты в пересчёте на оксид серы (VI), % по массе	0,11
Галоидные соединения в пересчёте на ион хлора, % по массе	0,001
Слюда, % по массе	0,05
Диоксид кремния общий, % по массе	34,85
Оксид алюминия, % по массе	3,61
Оксид железа (III), % по массе	1,26
Оксид титана (IV), % по массе	0,24
Оксид фосфора (V) водорастворимый, % по массе	0,003
Оксид натрия, % по массе	0,95
Карбонат кальция, % по массе	45,1
Карбонат магния, % по массе	12,1
Уголь, % по массе	Не обнаружен
Органические примеси	Не обнаружены
Посторонние засоряющие примеси	Не обнаружены

Таблица 5 – Характеристики песчаной почвы ОАЭ до и после восстановления, дерново-подзолистой почвы и чернозёма

Показатель	Почва ОАЭ до восстановления	Почва ОАЭ после восстановления	Дерново-подзолистая почва	Чернозём
Гумус, %	0,01	2–4	2–4	8–12
Азот общий, %	0,03	0,1–0,2	0,1–0,2	0,5–0,75
Фосфор общий, %	0,02	0,05–0,16	0,05–0,16	0,1–0,3
Калий общий, %	0,6	1–2,5	1–2,5	2,5–3
pH	8,89	6–8	4–5,5	6,5–7

Как показывает таблица 4, в песке ОАЭ большая доля карбонатов, он имеет щелочную реакцию. Общий азот находится в количестве 0,03 %, что является низким показателем. Содержание подвижного фосфора крайне невысокое (0,003 %). Общий калий хоть и присутствует в достаточно высоком количестве (0,6 %), но находится в составе алюмосиликатов и не может быть использован растениями. Содержание микроэлементов, в том числе магния и кальция, в представленном песке высокое; засолённость низкая (галоидные соединения менее 0,001 %). Очевидно, что данная песчаная почва не подходит для растениеводства. Однако при обеспечении органическим веществом и необходимыми минеральными компонентами, коррекции pH возможно её применение для производства органической сельскохозяйственной продукции.

В таблице 5 приведены характеристики различных типов почв по сравнению с песчаной почвой ОАЭ до и после проведения мелиорации (восстановления). Представлены планируемые агрохимические показатели по аналогии с дерново-подзолистой почвой, при этом скорректирован уровень кислотности.

Схема мелиорации (восстановления) песчаных почв

Мелиорацию пустынных почв планируется проводить циклически, применяя биогумус uTerra (органическое вещество – 50 %, азот общий – 0,9 %, фосфор общий – 0,9 %, калий общий – 0,9 %, pH – 7) и сидераты.

Биогумус uTerra изготавливается с помощью специально выведенного земляного червя *Lumbricus* uTerris, осуществляющего деструкцию бурого угля, а также ассоциаций агрономически ценных почвенных микроорганизмов из мирового Банка почв путём биоконверсии органических остатков, бурого угля, компоста, торфа, золы и побочных продуктов производства эликсира плодородия uTerra [12].

Виды сидератов для использования при мелиорации песчаных почв

Сидераты следует подбирать с учётом климатических условий региона, а также севооборота – чередования крестоцветных, зерновых и бобовых культур. При этом общий порядок проведения мелиорации остаётся неизменным.

Сорго суданское (*Sorghum × drummondii*) (рисунок 2). Является перспективным сидератом. Время вегетации составляет 90–120 суток, количество биомассы – 25–65 т/га. Наиболее благоприятная температура для роста и развития – 32–35 °C. Культура неприхотлива к почвам, может произрастать и давать высокие урожаи на лёгких песчаных, тяжёлых глинистых и даже засолённых почвах, однако не переносит кислых почв. Выдерживает концентрацию солей до 0,6–0,8 %. К влаге этот сидерат также нетребователен. Обладая мощной корневой системой, во время засухи он в достаточной мере обеспечивает себя водой из глубоких горизонтов почвы.

Высокая засухоустойчивость сорго объясняется не только наличием мощной корневой системы, но и способностью приостанавливать рост в период резкого недостатка влаги. Культура хорошо разрыхляет, дренирует и структурирует почву, облегчает её, повышает воздухо- и влагоёмкость.



Рисунок 2 – Сорго суданское

Горчица белая (*Sinapis alba*) (рисунок 3). Данный сидерат характеризуется вегетационным периодом 60–90 суток, количество биомассы составляет 30–40 т/га. Наиболее благоприятная температура для роста и развития – 25–28 °C.

Горчица обогащает почву органикой, азотом, фосфором, калием, серой и другими элементами в легкоусвояемой форме и одновременно удерживает их от вымывания, препятствует ускоренной минерализации органического вещества, которая неизменно происходит при перекопке и выращивании культур.



Рисунок 3 – Горчица белая

Гречиха обыкновенная (*Fagopyrum esculentum*) (рисунок 4). Вегетационный период данного традиционного сидерата составляет 60–80 суток, количество биомассы – 30–40 т/га. Наиболее благоприятная температура для роста и развития – 25–30 °C. Мощная корневая система разрыхляет и структурирует почву. Кроме стержневого корня гречиха обладает мелкими разветвлёнными корешками, проникающими на глубину до 35 см. Отмирая и разлагаясь, они оставляют в земле ходы, по которым поступают воздух и вода. Именно корни играют главную роль при сидерации. Выделяемые ими кислоты – лимонная, щавелевая и муравьиная – делают труднорастворимые фосфорные соединения более доступными для большинства растений.

Запахивать гречиху нужно на 7–10-й день с начала цветения. Она выполняет роль фитосанитара, избавляя почву от патогенных микроорганизмов, вызывающих болезни злаковых культур, в том числе корневые гнили.



Рисунок 4 – Гречиха обыкновенная

Биотехнология восстановления песчаных почв

Первым этапом предлагаемой схемы мелиорации является внесение в песчаную почву биогумуса uTerra и посев сидератов. На этой стадии в верхний почвенный слой (20 см) вносится расчётное количество биогумуса uTerra (от 1 %), проводится тщательное перемешивание и посев выбранных сидеративных растений. Через 90–105 дней (с учётом погодных условий) они заделываются и перемешиваются с песчаной почвой в верхнем слое. Полив водой планируется исходя из нормы 12 поливов по 150 м^3/га за один цикл мелиорации. Время одного цикла – до трёх месяцев.

Далее в зависимости от скорости роста, полученной биомассы растений и других факторов осуществляется следующий цикл выращивания сидеральных культур. Расчёты показывают, что добиться необходимого эффекта можно приблизительно за шесть циклов.

В таблице 6 приведены планируемые агрохимические характеристики мелиорации.

Расчёт выполняется следующим образом (на примере гумуса):

$$m_г = 0{,}01 + 1 + 0{,}5 \times 5 + 0{,}2 \times 6 = 4{,}71\ \%,$$

где $m_г$ – содержание гумуса, массовый процент после шести циклов;

0,01 – исходный процент гумуса в песчаной почве;

1 – процент прироста при начальном добавлении 2 % биогумуса;

0,5 × 5 – прирост за пять циклов добавления 1 % биогумуса uTerra;

0,2 × 6 – прирост гумуса за счёт биомассы за шесть циклов.

Таблица 6 – Планируемые агрохимические характеристики восстановления почвы

Показатель	Песчаная почва ОАЭ до мелиорации	Биогумус uTerra	Прирост из биомассы 6 т/га сухого вещества за цикл	Прирост за цикл (три месяца) из 1 % гумуса в слое 20 см (30 т/га)	Прирост за цикл (три месяца) из 2 % гумуса в слое 20 см (60 т/га)	Результат после шести циклов (18 месяцев)
Гумус, %	0,01	50	0,2	0,5	1	4,71
Азот общий, %	0,03	0,9	0,01	0,009	0,018	0,153
Фосфор общий, %	0,02	0,9	0,04	0,009	0,018	0,323
Калий общий, %	0,6	0,9	0,06	0,009	0,018	1,023
pH	8,89	7	–	–	–	7–8,8

Материалы для проведения мелиорации представлены в таблице 7. Можно сделать вывод, что для восстановления почвы требуется относительно небольшое количество материалов. При первом цикле мелиорации на глубину до 20 см вносится 2 % биогумуса uTerra, в последующих – 1 %. Плотность песка принимается равной 1,5 г/см^3. В дальнейшем при тестировании в связи с хорошим ростом культур количество применяемого биогумуса было снижено.

Таблица 7 – Материалы для проведения мелиорации в расчёте на 1 га

Расходные материалы	Количество, тонн	
	Один цикл	Шесть циклов
Биогумус uTerra	30	210
Семена сидератов	0,02	0,14
Вода	1800	10 800

Таким образом, теоретически подтверждается, что, используя поэтапную биотехнологию, можно при помощи биогумуса uTerra восстановить плодородие почв приблизительно за 18 месяцев. При этом будет получен грунт, по агрохимическим характеристикам занимающий промежуточное положение между чернозёмом и дерново-подзолистой почвой и пригодный для растениеводства.

Тестирование биотехнологии восстановления песчаных почв

Для того чтобы определить механизм рекультивации и уточнить оптимальный процент внесения биогумуса uTerra, в 2022–2024 гг. в ЗАО «Струнные технологии» проведён эксперимент поэтапного восстановления почвы. В опыте использовался строительный песок фракции 0–3 мм (немытый), по содержанию питательных веществ близкий к пустынным пескам. В качестве источника элементов питания растений и структурирования почвы выступал рассыпчатый биогумус uTerra, полученный в том числе из отхода производства эликсира плодородия uTerra. Сидераты поливались проточной водой без добавления органических или минеральных удобрений. Применялись пластиковые контейнеры 50 × 40 см с площадью поверхности 0,2 м^2.

Список растений и сроки осуществления работ были адаптированы под лабораторные условия. Высаживались следующие сидераты: рапс, редька масличная, горчица, горох, овёс, фацелия и фасоль.

Параметры проведения эксперимента (соответствуют субтропической пустыне):

- температура 20 °C днём, 16 °C ночью;
- влажность 60 %;
- освещённость 8000 лк/12 ч.

Эксперимент поставлен в трёх вариантах:

- контроль: без добавления органики;
- вариант 1: 1 % биогумуса uTerra + два внесения по 0,5 %;
- вариант 2: 2 % биогумуса uTerra + два внесения по 1 %.

После проведения 12-месячных испытаний (пять циклов мелиорации) на используемой песчаной почве высаживались культурные растения салата и томата.

Цикл 1: 18.08.2022 выполнены закладка опыта, внесение биогумуса uTerra (рисунок 5) и посев смеси крестоцветных (рисунок 6); заделка сидератов осуществлена 03.10.2022.



Рисунок 5 – Контейнеры с внесённым биогумусом uTerra







Рисунок 6 – Смесь сидератов (рапс, редька масличная, горчица)

Цикл 2: 03.10.2022 произведён посев гороха и овса (рисунок 7), заделка – 10.01.2023.

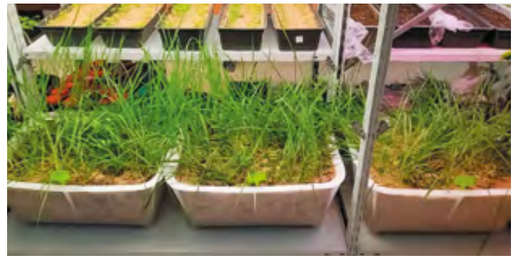


Рисунок 7 – Смесь сидератов (горох, овёс)

Цикл 3: 10.01.2023 осуществлён посев горчицы (рисунок 8), заделка – 13.05.2023.



Рисунок 8 – Растения горчицы

Цикл 4: 13.05.2023 выполнен посев овса (рисунок 9), заделка – 10.07.2023.



Рисунок 9 – Растения овса

Цикл 5: 10.07.2023 произведён посев фацелии и фасоли (рисунок 10), заделка – 15.08.2023.



Рисунок 10 – Смесь сидератов (фацелия, фасоль)

Посев салата (рисунок 11) осуществлён 15.08.2023, снятие урожая – 25.10.2023.

Урожайность салата составила:

- контроль: 363 г (1815 г/м^2, или 18,2 т/га);
- вариант 1: 725 г (3625 г/м^2, или 36,3 т/га);
- вариант 2: 781 г (3905 г/м^2, или 39,1 т/га).



Рисунок 11 – Растения салата

Посев томатов (рисунок 12) осуществлён 25.10.2023, снятие урожая – 30.01.2024.



Рисунок 12 – Растения томата

Плодовые результаты томатов (рисунок 13):

- контроль: 117 г (585 г/м^2, или 5,85 т/га);
- вариант 1: 251 г (1255 г/м^2, или 12,55 т/га);
- вариант 2: 368 г (1840 г/м^2, или 18,4 т/га).

Таким образом, с различных вариантов опыта получено от 5,85 до 18,4 тонн томатов в пересчёте на 1 га.

В таблице 8 представлены агрохимические результаты процесса восстановления почвы в лабораторных условиях.

Исходя из приведённых данных, можно сделать вывод, что восстановление неплодородной земли путём внесения суммарно 2–4 % биогумуса uTerra и использования сидератов происходит за 12 месяцев – за это время произведена плодородная почва, пригодная для выращивания сельскохозяйственной продукции. Суммарно достаточно применения 2 % биогумуса uTerra, но для ускорения процесса можно повысить концентрацию, если это будет экономически оправдано.

Заключение

Авторами рассмотрен комплексный подход, который предполагает восстановление пустынных песчаных почв и использование возвращённых таким образом территорий для экологически устойчивого производства энергетических культур. Ежегодно из сельскохозяйственного оборота выбывает до 20 млн га площадей, а задействования всего лишь 8,7 млн га для ведения энергетического земледелия было бы достаточно для обеспечения электроэнергией, например, такой страны, как Республика Беларусь.

Показаны преимущества разработок ЗАО «Струнные технологии», которые, будучи применёнными в логике программы «ЭкоМир», способны снизить антропогенную нагрузку на окружающую среду и предотвратить деградацию земель.

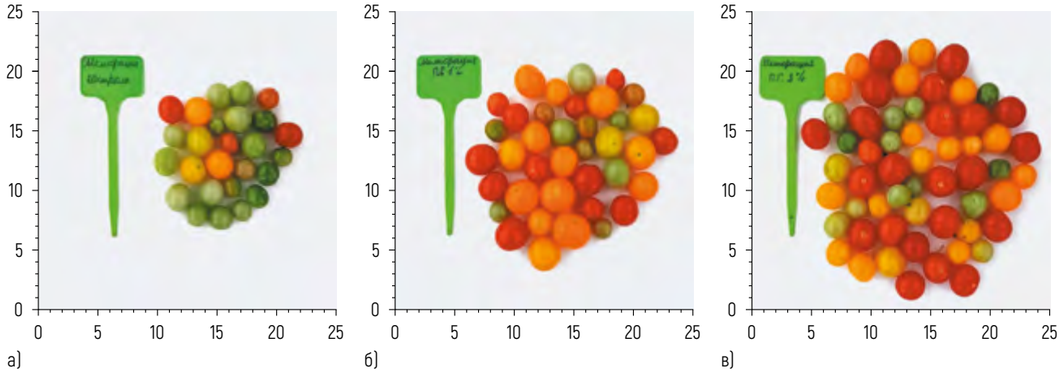


Рисунок 13 – Результаты эксперимента по выращиванию томатов: а – контроль; б – вариант 1; в – вариант 2

Таблица 8 – Результаты опыта по восстановлению почвы

Показатель	До восстановления	Контроль	Вариант 1	Вариант 2
Гумус, %	0,01	1,5	3	4,3
Азот, мг/100 г	10	86	127	51
Фосфор, мг/100 г	11	34	65	70
Калий, мг/100 г	8	22	33	45
pH	8,89	8,6	8	6,3
Урожайность салата, т/га	–	18,2	36,3	39,1
Урожайность томатов, т/га	–	5,85	12,55	18,4

Описанное в статье поэтапное восстановление пустынных почв с использованием биотехнологий позволяет получить плодородный слой, улучшить удержание влаги и аэрацию в грунте, повысить устойчивость к засухе при относительно небольших затратах. Широкое внедрение данного подхода может привести к созданию продуктивных и устойчивых экосистем в засушливых регионах. Биотехнологическое восстановление пустынь требует задействования ископаемых материалов (бурый уголь, торф и др.) лишь на первой стадии, а впоследствии будет произведено растительное энергетическое сырьё, побочные продукты применения и переработки которого (шрот, барда, растительные остатки, зола) являются ценными для животноводства и растениеводства.

На примере пустынных почв ОАЭ теоретически обоснована биотехнология поэтапного восстановления плодородия приблизительно за 18 месяцев. Суть способа состоит в проведении шести циклов выращивания и заделки сидератов, а также внесения необходимого количества биогумуса uTerra на каждом этапе и формирования за счёт накопления гумуса плодородной почвы, которая подходит для большинства видов плодовых и декоративных растений, технических культур.

В лаборатории осуществлены пять циклов мелиорации за 12 месяцев (в условиях субтропического климата) и тестовое выращивание салата и томата на полученной плодородной почве, выполнен её агрохимический анализ. Из экспериментальных данных следует, что за 12 месяцев возможно образование плодородной почвы из песчаной при применении 2–4 % биогумуса uTerra и проведении пяти циклов выращивания и заделки сидератов. Содержание элементов питания растений в созданной таким способом почве позволяет возделывать овощные и зеленные культуры (томат, салат) и теоретически подходит для широкого спектра энергетических культур, таких как павловния, сорго, рапс, сахарный тростник.

Для того чтобы оценить устойчивость энергетических культур к климатическим факторам и определить особенности выращивания, в КФХ «Юницкого» высажена опытная площадка павловнии. По результатам эксперимента планируется произвести расчёт выхода древесины с гектара, уточнить параметры культивирования.

В дальнейшем необходимы также опыты по восстановлению пустынных почв в условиях тропиков и более подробное изучение полученных данных, замеры параметров роста павловнии в КФХ «Юницкого», углублённый анализ способов оптимального производства электроэнергии из растительного сырья.

В целом развитие биотехнологий восстановления пустынь является перспективным направлением для создания комфортной среды обитания человека, обеспечения энергетической и продовольственной безопасности засушливых регионов. Это может предотвратить такую глобальную проблему, как деградация почв, и оказать положительное влияние на восстановление биосферы Земли и её биоразнообразие.

Список основных источников

1. *Печерникова, Г.В. Время роста Земли / Г.В. Печерникова // Доклады Академии наук. – 2005. – Т. 401, № 3. – С. 391–394.*
2. *Jena, L.K. Environmental Crisis and Human Well-Being: A Review / L.K. Jena, B. Behera // International Journal of Development and Sustainability. – 2017. – Vol. 6, No. 8. – P. 561–574.*
3. *Бузина, М.В. Определение количества солнечной энергии, поступающей на поверхность Земли, в природно-климатических условиях Забайкалья / М.В. Бузина // Вестник Читинского государственного университета. – 2010. – № 1 (58). – С. 6–10.*
4. *Изучение микробиологической солюбилизации бурого угля / А.Э. Юницкий [и др.] // Сахаровские чтения 2022 года: экологические проблемы XXI века: материалы 22-й междунар. науч. конф., Минск, 19–20 мая 2022 г.: в 2 ч. / Междунар. гос. экол. ин-т им. А.Д. Сахарова Белорус. гос. ун-та; под ред. С.А. Маскевича, М.Г. Герменчук. – Минск: ИВЦ Минфина, 2022. – Ч. 2. – С. 322–324.*
5. *Laity, J.J. Deserts and Desert Environments / J.J. Laity. – Chichester, Hoboken: John Wiley & Sons, 2008. – 368 p.*
6. *Лисицын, А.П. Аридная седиментация в Мировом океане. Рассеянное осадочное вещество атмосферы / А.П. Лисицын // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 10. – С. 1398–1439.*
7. *Алибеков, Л.А. Социально-экономические последствия процесса опустынивания в Центральной Азии / Л.А. Алибеков, С.Л. Алибекова // Вестник Российской академии наук. – 2007. – Т. 77, № 5. – С. 420–425.*
8. *Soil Degradation in the European Mediterranean Region: Processes, Status and Consequences / C.S.S. Ferreira [et al.] // Science of the Total Environment. – 2022. – Vol. 805. – 150106.*
9. *Oldeman, L.R. Global Extent of Soil Degradation / L.R. Oldeman // ISRIC Bi-Annual Report 1991–1992. – Wageningen: ISRIC, 1992. – P. 19–36.*

10. *Ардабацкий, С.А. Теоретические и практические аспекты проблемы шумового загрязнения / С.А. Ардабацкий // Бюллетень медицинских интернет-конференций. – 2017. – Т. 7, № 6. – С. 1136–1138.*
11. *Марченко, О.В. Возможности использования древесных отходов в энергетике России / О.В. Марченко, С.В. Соломин, А.Н. Козлов // Экология и промышленность России. – 2019. – Т. 23, № 6. – С. 17–21.*
12. *Comparison of Soil Microbiome Diversity in Establishing an Agronomically Valuable Association for Agricultural Applications / A. Unitsky [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2024. – Vol. 537. – 05030.*
13. *Юницкий, А.Э. Использование кровель зданий различного назначения под размещение оранжерей: особенности и оптимальные решения / А.Э. Юницкий, М.М. Давыдик, Н.С. Зыль // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы V междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 23–24 сент. 2022 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2023. – С. 136–151.*
14. *Заяц, В.С. Протекторная способность экзогенных элиситоров из Ganoderma lucidum при индукции солевого стресса у кресс-салата / В.С. Заяц, И.В. Налетов, Е.А. Крюков // Настоящее и будущее биотехнологии растений: материалы междунар. науч. конф., Минск, 24–26 мая 2023 г. – Минск: ИВЦ Минфина, 2023. – С. 75.*
15. *Юницкий, А.Э. Почва и почвенные микроорганизмы в биосфере ЭкоКосмоДома / А.Э. Юницкий, Е.А. Соловьёва, Н.С. Зыль // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 179–183.*
16. *Определение ключевых параметров технологического освещения для растений / А.Э. Юницкий [и др.] // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы V междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 23–24 сент. 2022 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2023. – С. 170–177.*



УДК 579.64+629.7

Изучение активности микробиоты почвы при высоком содержании солей

А.Э. Юницкий[1, 2]
доктор философии транспорта

Т.И. Пятакова[2]

В.В. Корней[2]

П.А. Буглак[2]

Д.А. Конёк[2]

[1] ООО «Астроинженерные технологии»,
г. Минск, Беларусь

[2] ЗАО «Струнные технологии»,
г. Минск, Беларусь

Исследование сосредоточено на изучении влияния засолённости почвы на микробиологическую активность. Цель работы – выявление невосприимчивых к засолению видов микроорганизмов, способных сохранять свою активность даже при повышенном содержании солей, а также обеспечивать эффективную утилизацию органических остатков и плодородие почвенного грунта на протяжении длительного времени.

В процессе исследования проведён анализ воздействия различных концентраций NaCl в диапазоне от 0,05 до 1 %. Результаты экспериментов позволили определить резистентные к соли микроорганизмы и описать условия, необходимые для сохранения их активности в засолённых почвах. Полученные данные могут быть использованы для оптимизации почвенных ассоциаций, устойчивых к повышенному содержанию солей в грунте, а также применяться для культивирования растений в ЭкоКосмоДоме (ЭКД) на орбите и в ЭКД-Земля на планете.

Ключевые слова:
азотфиксирующие бактерии, актиномицеты, засоление почвы, почвенные микроорганизмы, ЭкоКосмоДом (ЭКД).

UDC 579.64+629.7

Study of Soil Microbiota Activity at High Salt Content

A. Unitsky[1, 2]
Dr. of Philosophy
in Information Technologies
(Transport)

T. Pyatakova[2]

V. Karnei[2]

P. Buglak[2]

D. Konyok[2]

[1] Astroengineering Technologies LLC,
Minsk, Belarus

[2] Unitsky String Technologies Inc.,
Minsk, Belarus

The research is focused on studying the impact of soil salinity on microbiological activity. The purpose of the work is to identify microorganism species immune to salinization, capable of maintaining their activity even at elevated salt content as well as to ensure effective disposal of organic residues and soil fertility for a long time.

In the process of research, the influence of different concentrations of NaCl in the range from 0.05 to 1 % was analyzed. The results of experiments allowed to determine salt-resistant microorganisms and describe the conditions required to maintain their activity in saline soils. The data obtained can be used to optimize soil associations resistant to high salt content, as well as applied to plant cultivation in the EcoCosmoHouse (ECH) in orbit and in the ECH-Earth on the planet.

Keywords:
actinomycetes, EcoCosmoHouse (ECH), nitrogen-fixing bacteria, soil microorganisms, soil salinization.

Введение

По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO), в настоящее время засолённые почвы занимают обширные территории – примерно 25 % всей поверхности суши [1]. Засолением почвы называют избыточное скопление в корнеобитаемом слое электролитных (растворённых или поглощённых) солей, которые угнетают или губят растения, снижают качество и количество урожая. Высокой степенью засолённости обладают почвы в пустынях и полупустынях. В России общая площадь засолённых земель составляет более 40 млн га. В Беларуси сельскохозяйственные угодья насчитывают 8,28 млн га (39,9 % от общей площади страны в 20,76 млн га), за последние семь лет размер таких земель сократился на 1,5 % (0,35 млн га) [2].

Избыток солей губителен для микроорганизмов и растений. Негативное влияние засоления почв на биологические объекты приводит к щелочной реакции среды, высокому осмотическому давлению, токсическому действию легкорастворимых солей (хлориды, нитраты, сульфаты, карбонаты, натрий и магний), а также к неблагоприятному водно-физическому свойству почв (ухудшение водопроницаемости за счёт повышения содержания физической глины, увеличения минерализации органического вещества), что становится причиной снижения уровня плодородия, уменьшения доступности макро-, микро- и ультрамикроэлементов для растений [3].

В случае осолонцевания наблюдается снижение степени насыщенности почвы кальцием за счёт замещения его натрием и магнием. Данный процесс ведёт к подавлению доступности обменного кальция, дефицит которого означает ослабление защитной функции растений в связи с дестабилизацией мембран. Токсическое действие натрия усиливается в присутствии хлоридов, резко ухудшая поглощение питательных элементов из засолённой почвы, прежде всего NPK (азот (N), фосфор (P) и калий (K)). Несбалансированное минеральное питание оказывается причиной голода растений, их высокой восприимчивости к патогенам и вредителям, снижения выживаемости на фоне экстремальных природных и антропогенных факторов [4].

Приоритетными задачами являются определение и предотвращение факторов, вызывающих засоление почв; сохранение, воспроизводство плодородия и рациональное применение в сельском хозяйстве засолённых почв [5].

Ключевую роль в круговороте химических элементов, трансформации органического вещества в почве, а также в поддержании продуктивности растений играет микробное сообщество. В связи с этим важно понимать реакцию микроорганизмов на экологические стрессы, такие как высокие концентрации солей, которые могут быть губительными для чувствительных микроорганизмов и снижать активность выживших клеток [6].

Следовательно, цель работы – выявить устойчивые к засолению виды микроорганизмов, способные сохранить свою активность даже в условиях повышенного содержания солей, обеспечить эффективную утилизацию органических остатков и улучшить плодородие почвенного грунта на протяжении длительного времени; использовать их в получении субстратов для культивирования растений в условиях ЭкоКосмоДома (ЭКД) и в ЭКД-Земля, где они станут ключевым элементом, гарантирующим устойчивость и автономность данных систем.

Объекты и методы исследования

Для приготовления культуральной жидкости (далее – инокулят) применялись агрономически ценные микроорганизмы, полученные из мирового Банка почв (создан в Крестьянском (фермерском) хозяйстве «Юницкого», г. Марьина Горка, Беларусь), а также обладающие комплексом полезных свойств актиномицеты, целлюлозолитические и азотфиксирующие микроорганизмы, выделенные отделом биотехнологий ЗАО «Струнные технологии» (г. Минск, Беларусь) [7, 8]: *Pseudomonas jessenii*, *Enterobacter cloacae*, *Pseudomonas umsongensis*, *Brevundimonas albigilva*, *Lelliottia* spp., *Citrobacter* spp., *Aeromonas* spp., *Bacillus* spp., *Paeniclostridium* spp., *Rhodococcus rhodochrous*, *Azotobacter vinelandii* БИМ B-75. Для изучения влияния различных концентраций соли на численность микроорганизмов был поставлен ряд опытов.

Из широко распространённых солей наиболее токсичными являются карбонат натрия и хлориды, менее – сульфаты натрия и магния. Исходя из этого, к почве добавляли NaCl в разной концентрации (от 0,05 до 1 %) и инокулят микроорганизмов (от 10 до 75 %). Контролем служила численность микроорганизмов почвы без добавления соли и инокулята, а также с добавлением NaCl во всех исследуемых концентрациях (от 0,05 до 1 %), но без добавления инокулята (таблица 1).

В ходе работы проводился микробиологический и химический анализ образцов на 1-е, 5-е, 10-е и 15-е сутки. Микробиологический включал в себя идентификацию видовой и родовой принадлежности микроорганизмов, а также вычисление общего микробного числа (ОМЧ). Химический – определение содержания NPK и количества ионов солей в образцах почвы.

Таблица 1 – Условные обозначения экспериментальных образцов

Обозначение	Пояснение
Инокулят 100 % (исходный)	Чистый инокулят
Контроль	Почва
Контроль + NaCl 1 %	Почва с добавлением NaCl 1 %
Контроль + NaCl 0,5 %	Почва с добавлением NaCl 0,5 %
Контроль + NaCl 0,05 %	Почва с добавлением NaCl 0,05 %
Инокулят 75 % + NaCl 1 %	Почва с добавлением инокулята 75 % и NaCl 1 %
Инокулят 75 % + NaCl 0,5 %	Почва с добавлением инокулята 75 % и NaCl 0,5 %
Инокулят 75 % + NaCl 0,05 %	Почва с добавлением инокулята 75 % и NaCl 0,05 %
Инокулят 50 % + NaCl 1 %	Почва с добавлением инокулята 50 % и NaCl 1 %
Инокулят 50 % + NaCl 0,5 %	Почва с добавлением инокулята 50 % и NaCl 0,5 %
Инокулят 50 % + NaCl 0,05 %	Почва с добавлением инокулята 50 % и NaCl 0,05 %
Инокулят 20 % + NaCl 1 %	Почва с добавлением инокулята 20 % и NaCl 1 %
Инокулят 20 % + NaCl 0,5 %	Почва с добавлением инокулята 20 % и NaCl 0,5 %
Инокулят 20 % + NaCl 0,05 %	Почва с добавлением инокулята 20 % и NaCl 0,05 %
Инокулят 10 % + NaCl 1 %	Почва с добавлением инокулята 10 % и NaCl 1 %
Инокулят 10 % + NaCl 0,5 %	Почва с добавлением инокулята 10 % и NaCl 0,5 %
Инокулят 10 % + NaCl 0,05 %	Почва с добавлением инокулята 10 % и NaCl 0,05 %

Результаты исследования

В результате засоления возникают неблагоприятные условия для почвенных микроорганизмов. Увеличение концентрации солей приводит к высокому градиенту концентрации между наружной мембраной клеток микроорганизмов и окружающей их средой. Это затрудняет нормальный транспорт питательных веществ и ионов через клеточную мембрану. Кроме того, избыток солей становится причиной изменения физико-химических свойств субстрата и делает его менее пригодным для жизнедеятельности микроорганизмов.

Все перечисленные факторы негативно отражаются на росте и активности микроорганизмов, что в свою очередь отрицательно влияет на протекание важных биогенных процессов в почве, таких как минерализация органических остатков, фиксация азота и другие биотрансформации.

Засолённость (в частности, наличие пищевой соли) оказывает сильное угнетающее воздействие на почвенную микрофлору. Повышенная концентрация ионов натрия и хлора затрудняет нормальный метаболизм и размножение микроорганизмов. Это ещё больше усугубляет негативные последствия засоления для биогенных процессов в почве.

Проведённые эксперименты (таблица 2) продемонстрировали, что используемые группы микроорганизмов невосприимчивы к действию солей. Однако при повышении их концентрации рост анализируемых микроорганизмов не обнаруживается.

Азотфиксирующие бактерии оказались наименее устойчивыми к соли. При её содержании более 0,05 % они прекращают развиваться, резко подавляются при концентрации соли 1 %, а при более 0,5 % наступает полное торможение их жизнедеятельности.

Концентрация NaCl 0,05 % ещё позволяет размножаться целлюлозолитическим бактериям, они также способны выдерживать 0,5 % соли, но их численность при этом снижается вдвое. Количество актиномицетов уменьшается с возрастанием содержания NaCl таким образом, что при 1 % соли они находятся в неактивном состоянии.

Проанализировав полученные данные, можно сделать вывод, что выбранная для исследований микрофлора способна переносить более высокие концентрации NaCl – до 0,5 %, и она остаётся активной, участвуя в переработке органических и минеральных веществ.

Для полного понимания влияния соли на микробиологическое сообщество необходимо знать не только численность отдельных групп микроорганизмов, но и общее их количество.

Из таблицы 3 видно, что при увеличении концентрации инокулята, как правило, наблюдается рост числа микроорганизмов во всех образцах. Это свидетельствует о том, что чем больше количество вносимых микроорганизмов, тем выше их численность в итоге.

Кроме того, можно заметить, что при одинаковом объёме инокулята образцы с более низкой концентрацией NaCl обычно имеют более высокое ОМЧ. Значит, соль оказывает ингибирующее действие на рост и размножение микроорганизмов: чем выше её концентрация, тем сильнее это влияние.

Таблица 2 – Микробиологические показатели засолённых почв

Состав пробы	Количество микроорганизмов, КОЕ/г		
	Азотфиксирующие бактерии	Целлюлозолитические бактерии	Актиномицеты
Инокулят 100 % (исходный)	3×10^8	2×10^8	6×10^8
Инокулят 75 % + NaCl 1 %	–	–	–
Инокулят 75 % + NaCl 0,5 %	–	5×10^4	1×10^4
Инокулят 75 % + NaCl 0,05 %	1×10^5	3×10^6	1×10^6
Инокулят 50 % + NaCl 1 %	–	–	–
Инокулят 50 % + NaCl 0,5 %	–	2×10^4	2×10^4
Инокулят 50 % + NaCl 0,05 %	6×10^4	1×10^6	6×10^5
Инокулят 20 % + NaCl 1 %	–	–	–
Инокулят 20 % + NaCl 0,5 %	–	4×10^3	7×10^3
Инокулят 20 % + NaCl 0,05 %	8×10^4	5×10^5	2×10^5
Инокулят 10 % + NaCl 1 %	–	–	–
Инокулят 10 % + NaCl 0,5 %	–	8×10^3	5×10^4
Инокулят 10 % + NaCl 0,05 %	5×10^4	1×10^5	3×10^6

Таблица 3 – Микробиологические результаты засолённости почв (общие)

Состав пробы	ОМЧ, КОЕ/г			
	1-е сутки	5-е сутки	10-е сутки	15-е сутки
Инокулят 100 % (исходный)	1×10^9	–	–	–
Контроль	6×10^8	–	–	–
Контроль + NaCl 1 %	–	5×10^7	1×10^7	5×10^3
Контроль + NaCl 0,5 %	–	2×10^8	5×10^7	1×10^5
Контроль + NaCl 0,05 %	–	2×10^8	3×10^7	9×10^5
Инокулят 75 % + NaCl 1 %	–	6×10^7	9×10^5	2×10^3
Инокулят 75 % + NaCl 0,5 %	–	7×10^7	4×10^6	1×10^5
Инокулят 75 % + NaCl 0,05 %	–	9×10^8	6×10^7	8×10^6
Инокулят 50 % + NaCl 1 %	–	1×10^8	9×10^6	2×10^2
Инокулят 50 % + NaCl 0,5 %	–	8×10^8	7×10^6	2×10^5
Инокулят 50 % + NaCl 0,05 %	–	1×10^8	8×10^7	2×10^6
Инокулят 20 % + NaCl 1 %	–	5×10^6	5×10^5	2×10^2
Инокулят 20 % + NaCl 0,5 %	–	9×10^7	3×10^5	9×10^3
Инокулят 20 % + NaCl 0,05 %	–	1×10^8	8×10^7	1×10^5
Инокулят 10 % + NaCl 1 %	–	6×10^6	3×10^4	8×10^1
Инокулят 10 % + NaCl 0,5 %	–	1×10^7	7×10^6	3×10^2
Инокулят 10 % + NaCl 0,05 %	–	2×10^8	7×10^7	2×10^4

Результаты эксперимента демонстрируют, что для достижения максимального уровня общего числа микроорганизмов необходимо вносить достаточное количество инокулята и не превышать допустимую концентрацию соли в среде.

Помимо фиксирования общей микробной обсеменённости проведена идентификация видовой и родовой принадлежности микроорганизмов. Данный процесс осуществлялся для сравнения микроорганизмов, содержащихся в исходном инокуляте и в полученных образцах почвы, для выявления новых бактерий, имевшихся в ней до добавления культур.

С целью изучения морфологических свойств микроорганизмов выполнялись микроскопия мазков и окрашивание методом Грама. Культуральные свойства определялись путём посева на твёрдые агаризованные среды. Учитывались форма, контур края, размер, диаметр, цвет колоний, их структура и консистенция. Кроме того, использовались дифференциально-диагностические среды для изучения биохимической активности культур, включая оксидазную и каталазную активность.

Перед проведением эксперимента выполнена окраска по Граму для выявления микроорганизмов, планируемых для применения в инокуляте (рисунок 1). Окрашенные микроорганизмы включали: *Pseudomonas jessenii*, *Enterobacter cloacae*, *Pseudomonas umsongensis*, *Brevundimonas albigilva*, *Lelliottia* spp., *Citrobacter* spp., *Aeromonas* spp., *Bacillus* spp., *Paeniclostridium* spp., *Rhodococcus rhodochrous*, *Azotobacter vinelandii* БИМ В-75.

Через 15 суток после добавления в почву NaCl осуществлялась идентификация, при которой обнаружены не только микроорганизмы, находившиеся в исходном инокуляте, но и микроорганизмы, изначально имевшиеся в почве, преимущественно грамотрицательные палочки (рисунок 2).

Присутствие микроорганизмов через 15 суток свидетельствует об их устойчивости к условиям засоления почвы. Можно предположить: данные микроорганизмы обладают механизмами адаптации к высоким концентрациям соли, что позволяет им выживать и сохранять свою активность в такой среде.

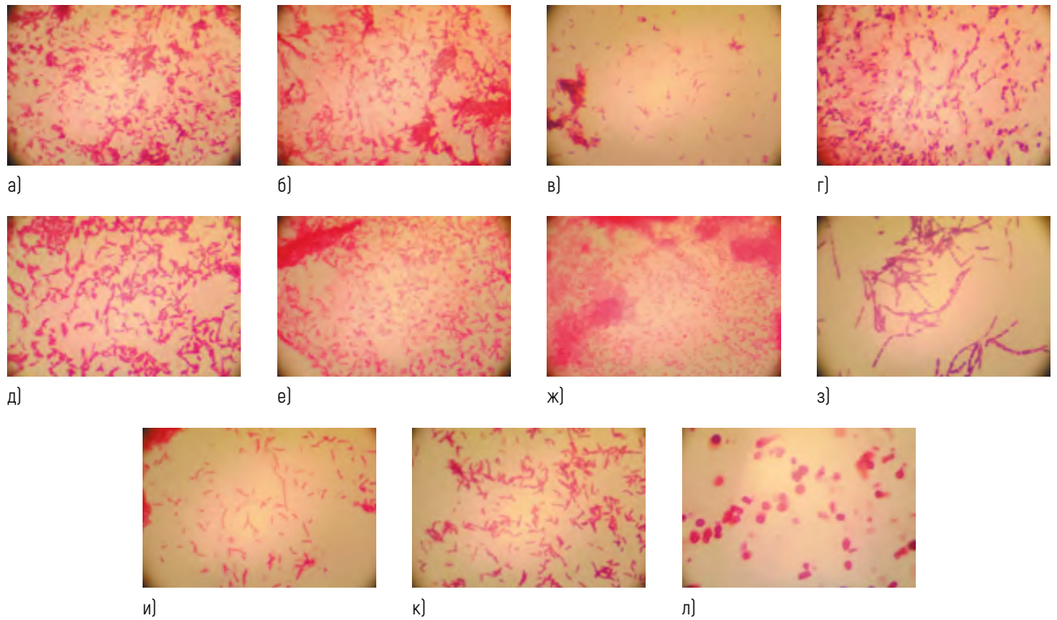


Рисунок 1 – Окрашенные культуры микроорганизмов под микроскопом:
а – *Pseudomonas jessenii*; б – *Enterobacter cloacae*; в – *Pseudomonas umsongensis*; г – *Brevundimonas albigilva*;
д – *Lelliottia* spp.; е – *Citrobacter* spp.; ж – *Aeromonas* spp.; з – *Bacillus* spp.; и – *Paeniclostridium* spp.; к – *Rhodococcus rhodochrous*;
л – *Azotobacter vinelandii* БИМ В-75

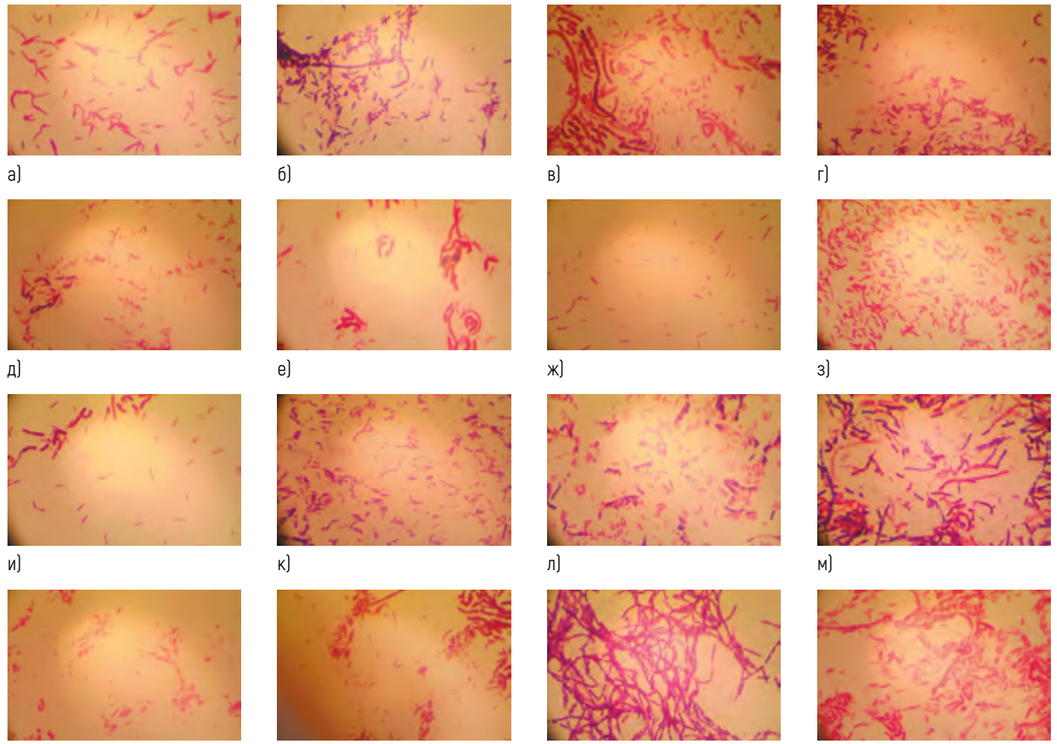


Рисунок 2 – Окрашенные культуры микроорганизмов под микроскопом:
а – контроль + NaCl 1 %; б – контроль + NaCl 0,5 %; в – контроль + NaCl 0,05 %; г – инокулят 75 % + NaCl 1 %; д – инокулят 75 % + NaCl 0,5 %;
е – инокулят 75 % + NaCl 0,05 %; ж – инокулят 50 % + NaCl 1 %; з – инокулят 50 % + NaCl 0,5 %; и – инокулят 50 % + NaCl 0,05 %;
к – инокулят 20 % + NaCl 1 %; л – инокулят 20 % + NaCl 0,5 %; м – инокулят 20 % + NaCl 0,05 %; н – инокулят 10 % + NaCl 1 %;
о – инокулят 10 % + NaCl 0,5 %; п – инокулят 10 % + NaCl 0,05 %; р – контроль

Влияние NaCl на содержание элементов в почве

В таблице 4 приведены результаты количественного анализа содержания элементов в почве после добавления NaCl. Прослеживается, что добавленный NaCl практически не повлиял на растворимые соли лития, калия и фосфора. Однако концентрация азота существенно снизилась, в то же время натрия, как и ожидалось, заметно возросла. Содержание кальция изначально увеличилось, но после вернулось к исходному показателю.

Азот. На рисунке 3 представлена динамика содержания азота после добавления NaCl.

Снижение концентрации элемента наблюдается во всех образцах сразу после внесения соли. Высокое содержание NaCl могло ингибировать активность азотфиксирующих бактерий, а также изменить осмотические условия в почве, затрудняя доступность воды и питательных веществ для микроорганизмов. Это в свою очередь могло привести к снижению активности последних и, соответственно, к уменьшению фиксации атмосферного азота.

В контрольных образцах с NaCl 0,5 и 1 % отмечается увеличение концентрации азота на 5-е и 15-е сутки соответственно, что вызвано временным высвобождением элемента из органических соединений в почве под действием соли в отсутствие конкуренции со стороны микроорганизмов.

В образцах с добавлением инокулята 20 % и NaCl 0,05 % концентрация азота повысилась на 5-е сутки, а в образцах с инокулятом 20 % и NaCl 0,5 % – на 10-е сутки.

Таблица 4 – Количественный анализ засолённости почв, мг/100 г

Состав пробы	Азот	Фосфор	Калий	Натрий	Литий	Кальций
Контроль	4347,83	139,9	185,79	36,9	8,9	1296,5
Контроль + NaCl 1 %	1593,72	137,23	298,03	2043,08	9,25	3322,33
Контроль + NaCl 0,5 %	2025,23	165,88	224,88	1306,13	8,95	2767,75
Контроль + NaCl 0,05 %	1509,86	161,08	194,65	203,9	6,44	2726,98
Инокулят 75 % + NaCl 1 %	1053,99	176,33	178,33	765,1	8,03	1647,47
Инокулят 75 % + NaCl 0,5 %	1314,37	183,13	222,37	461,13	8,37	1627,53
Инокулят 75 % + NaCl 0,05 %	1708,37	174,43	218,77	135,57	7,27	1351,87
Инокулят 50 % + NaCl 1 %	1307,46	248,07	237,57	795,27	9,13	1855,87
Инокулят 50 % + NaCl 0,5 %	1449,76	190,3	251,27	510,9	7,53	1626,63
Инокулят 50 % + NaCl 0,05 %	1672,91	189,37	241,37	206,37	7,77	1493,67
Инокулят 20 % + NaCl 1 %	1550,09	183,53	237,97	662,53	9,23	1711,9
Инокулят 20 % + NaCl 0,5 %	2107,36	177,2	231,83	277,8	8,13	1480,2
Инокулят 20 % + NaCl 0,05 %	1882,31	189	223,03	127,3	7,4	1310
Инокулят 10 % + NaCl 1 %	1315,83	183,27	236,3	722,87	9,13	1820,8
Инокулят 10 % + NaCl 0,5 %	1414,68	143,1	242,03	400,47	8,7	1593,3
Инокулят 10 % + NaCl 0,05 %	1717,75	146,9	230,7	120,17	7,37	1277,07

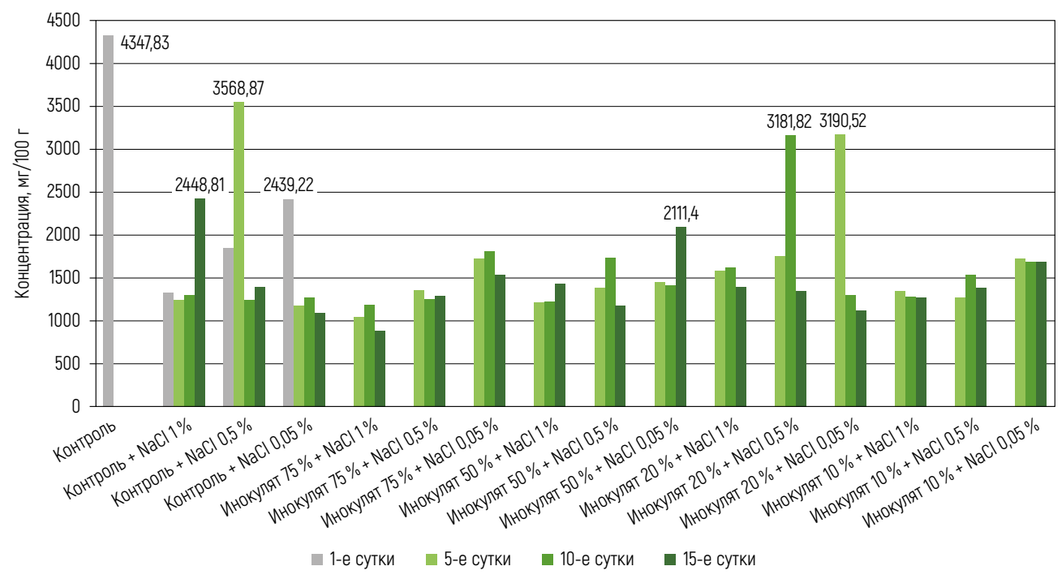


Рисунок 3 – Содержание азота в почве

Данный факт может свидетельствовать о постепенной адаптации азотфиксирующих микроорганизмов к условиям засоления и восстановлении их активности, что также подтверждается полученными ранее результатами.

Фосфор. На основании рисунка 4 можно сделать вывод, что после добавления NaCl концентрация фосфора практически не изменилась: отмечено несущественное повышение. Значит, присутствие соли не оказывало серьёзного влияния на процессы минерализации органических остатков и высвобождения элемента на протяжении всего эксперимента.

Кальций. Концентрация кальция остаётся почти на одном уровне после добавления NaCl, за исключением резкого скачка в контрольных образцах с NaCl 1, 0,5 и 0,05 % в 1-е сутки (рисунок 5). Присутствие соли могло способствовать временному высвобождению элемента из органических и минеральных соединений в почве, что привело к резкому усилению его концентрации.

Калий. На 5-е сутки в контрольном образце с NaCl 1 % наблюдается увеличение концентрации калия (рисунок 6). Однако в образцах с добавлением инокулята отмечается снижение содержания элемента, что, вероятно, связано с его потреблением микроорганизмами для их метаболизма.

На 10-е сутки концентрация калия повысилась в большинстве образцов и оставалась на относительно стабильном уровне. Это может быть вызвано высвобождением элемента из почвенных минералов и органических соединений под влиянием NaCl, а также адаптацией микроорганизмов к условиям засоления.

Следовательно, динамика концентрации калия в почве обусловлена взаимодействием между микробными сообществами, добавленными в инокулят, и процессами высвобождения и поглощения элемента в присутствии соли. Стабилизация уровня калия на 10-е сутки указывает на установление нового равновесия в почвенной системе после внесения NaCl.

Натрий. Виден значительный рост концентрации натрия после добавления NaCl (рисунок 7), что является ожидаемым результатом.

Литий. Концентрация лития остаётся практически на одном уровне во всех образцах после добавления NaCl. Однако наблюдается её повышение в 1-е сутки в двух контрольных образцах с NaCl 1 и 0,5 % (рисунок 8). Это может быть связано с временным высвобождением лития из почвенных соединений под действием соли. Однако в последующие дни данный эффект, вероятно, был компенсирован другими процессами, что привело к стабилизации концентрации элемента.

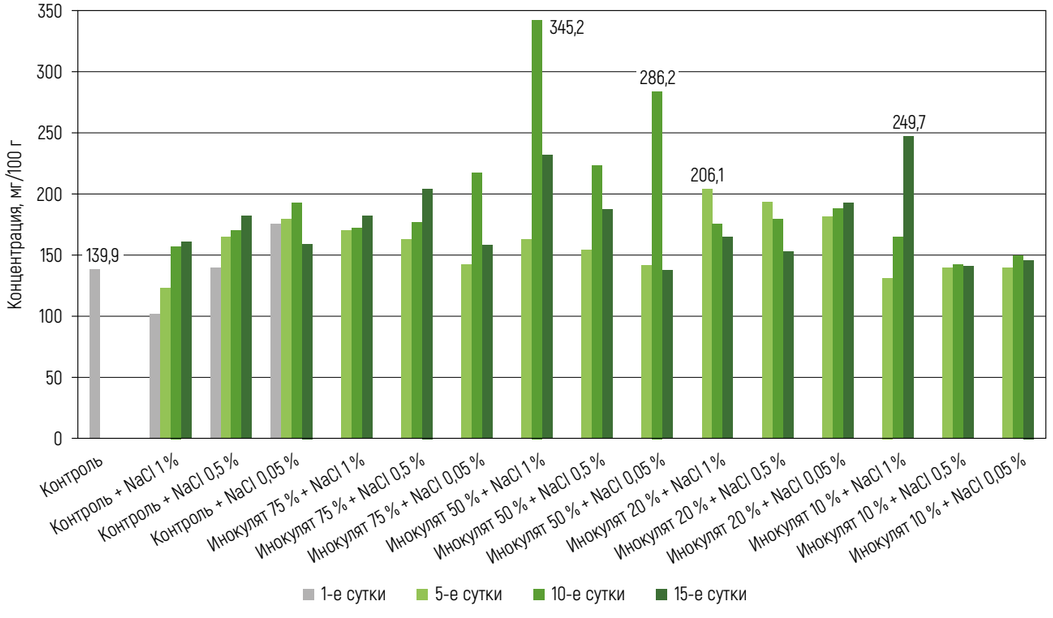


Рисунок 4 – Содержание фосфора в почве

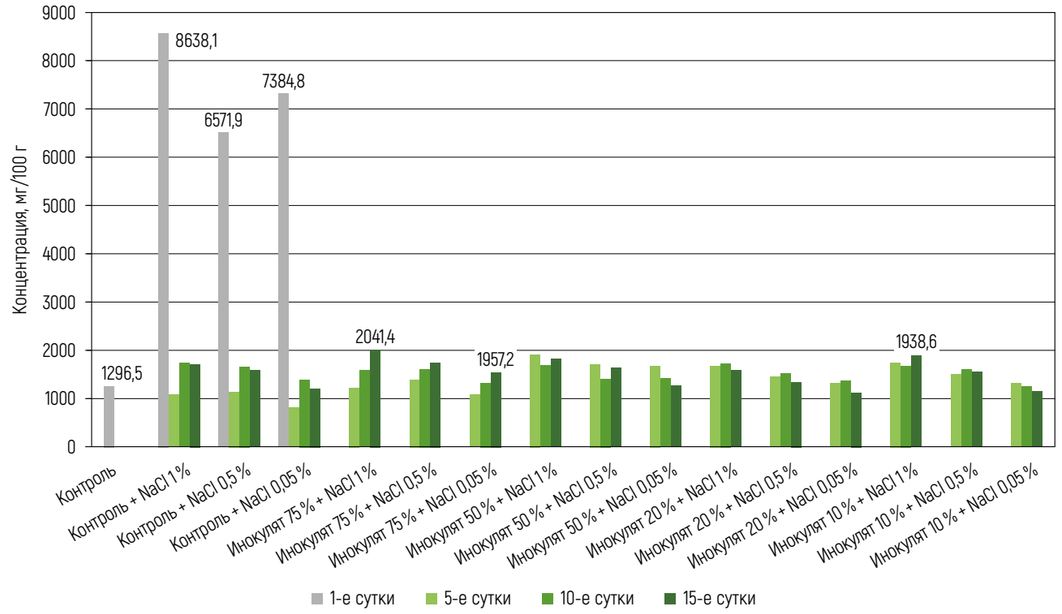


Рисунок 5 – Содержание кальция в почве

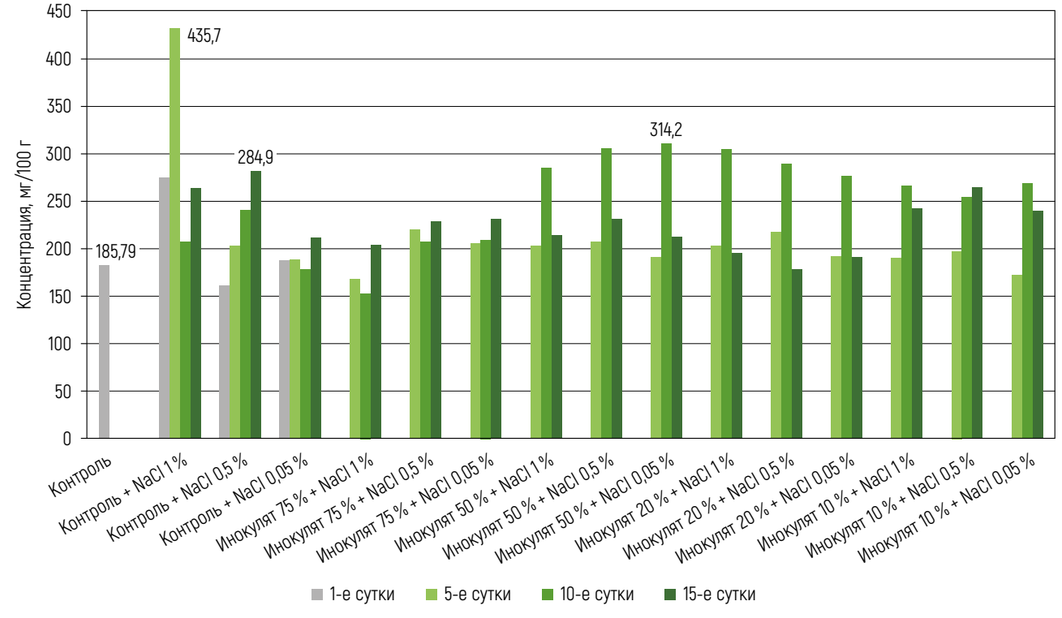


Рисунок 6 – Содержание калия в почве

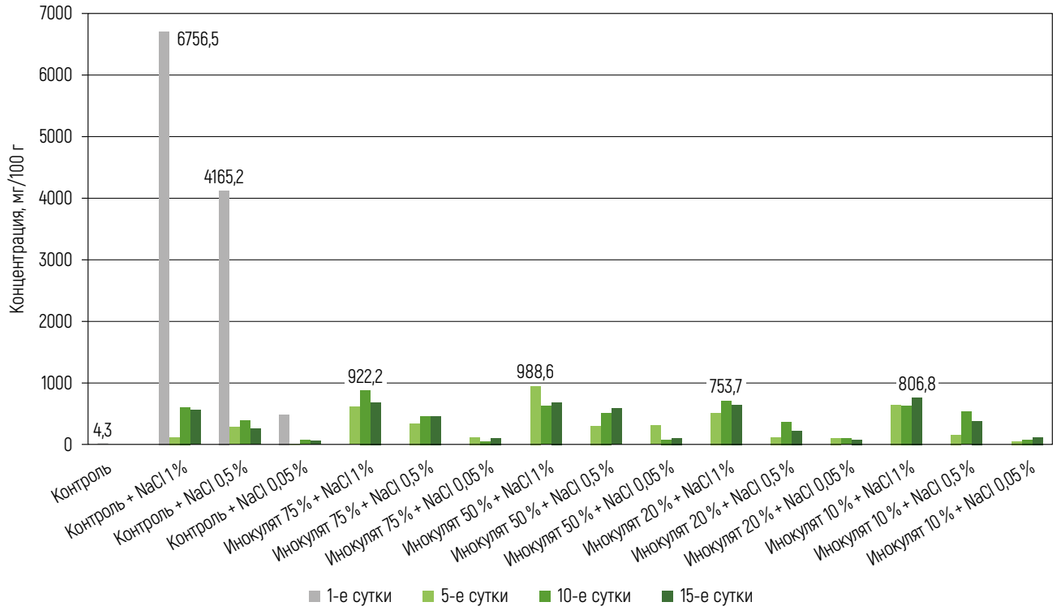


Рисунок 7 – Содержание натрия в почве

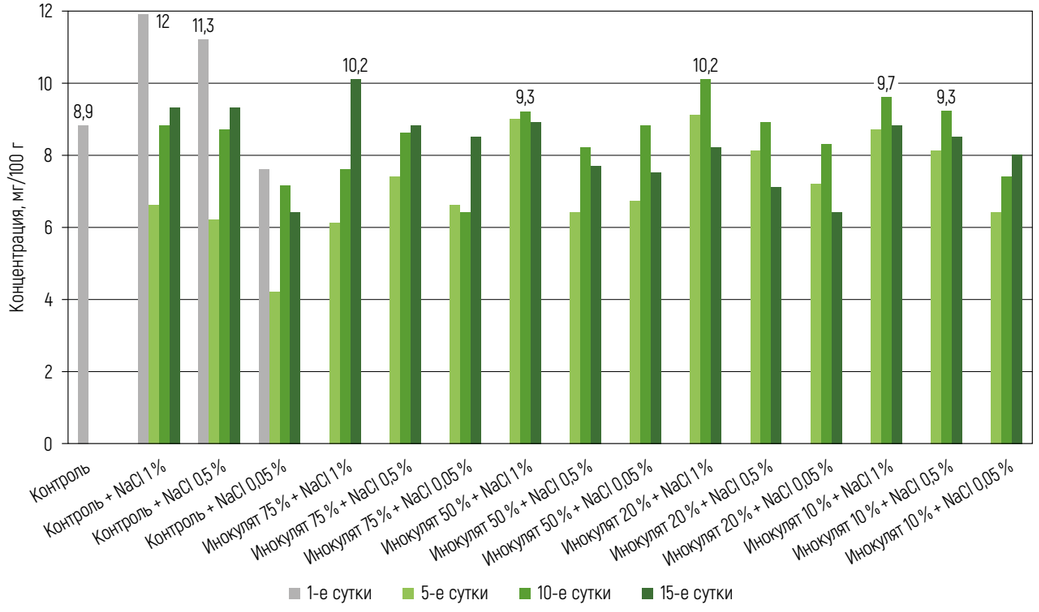


Рисунок 8 – Содержание лития в почве

Заключение

В ходе исследования подобран ряд микроорганизмов, которые устойчивы к условиям засоления почв и обладают механизмами адаптации к высоким концентрациям соли, что позволяет им сохранять свою активность в такой среде. Соответственно, их применение совместно с внесением органических удобрений может быть полезным для рекультивации солончаков. Бактерии, способные перерабатывать органику при значительном содержании соли, будут содействовать улучшению структуры и плодородия почвы.

Наиболее невосприимчивыми к засолению оказались целлюлозолитические микроорганизмы и актиномицеты. В то же время азотфиксирующие бактерии не выдерживают концентрацию соли более 0,05 %, что отрицательно сказывается на азотном режиме почв.

Для обеспечения высокой общей численности микроорганизмов нужно вносить достаточное количество инокулята с устойчивыми к засолению микроорганизмами и поддерживать низкую концентрацию соли в среде. Это создаст оптимальные условия для развития бактерий и сохранения их активности.

Настоящее исследование позволило выявить микроорганизмы, обладающие механизмами адаптации к засолению, и определить факторы, необходимые для сохранения их активности. Подобные бактерии могут быть полезны для создания и поддержания замкнутых экосистем, в том числе на орбите в ЭКД и на планете в ЭКД-Земля. В частности, их можно использовать при проектировании искусственных субстратов для выращивания сельскохозяйственных культур. Благодаря своей устойчивости к засолению такие микроорганизмы обеспечат эффективную переработку органических остатков и плодородие почвенного грунта на протяжении длительного времени. Кроме того, они могут применяться для биологической очистки стоков и утилизации отходов жизнедеятельности. Это позволит поддерживать автономность экосистемы и замкнутый круговорот веществ.

Список основных источников

1. *Засоление почв: проблемы и пути решения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://agriecomission.com/base/zasolenie-pochv-problema-i-puti-resheniya. – Дата доступа: 10.04.2024.*
2. *Тишковская, Е.А. Техногенное засоление почвы при переработке полезных ископаемых / Е.А. Тишковская; науч. рук. А.А. Хрипович // Перспективы инновационно-технологического и экономического развития минерально-сырьевого комплекса: сб. материалов XX междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 20-летию фак. горн. дела и инженер. экологии Белорус. нац. техн. ун-та, Минск, 5 апр. 2022 г.: в 2 т. / редкол.: А.А. Кологривко (пред.) [и др.]. – Минск: БНТУ, 2022. – Т. 2. – С. 230.*
3. *Засолённые почвы России / Е.И. Панкова [и др.]. – М.: Академкнига, 2006. – 854 с.*
4. *Техногенное засоление почв и их микробиологическая характеристика / В.С. Артамонова [и др.] // Сибирский экологический журнал. – 2010. – Т. 17, № 3. – С. 461–470.*
5. *Ходжимуродова, Н.Р. Микроорганизмы орошаемых почв бухарского оазиса / Н.Р. Ходжимуродова, Н.Х. Хакимова, Н.Н. Тураева // Инновацион технологиялар. – 2021. – № 1 (41). – С. 72–76.*
6. *De Souza-Silva, C.M. Effect of Salinity on Soil Microorganisms / C.M. de Souza-Silva, E.F. Fay // Soil Health and Land Use Management / ed. M.C. Hernandez-Soriano. – 2012. – P. 177–198.*
7. *Юницкий, А.Э. Почва и почвенные микроорганизмы в биосфере ЭкоКосмоДома / А.Э. Юницкий, Е.А. Соловьёва, Н.С. Зыль // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 179–183.*
8. *Биоутилизация органических остатков при помощи микроорганизмов / А.Э. Юницкий [и др.] // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы VI междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 7–8 окт. 2023 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2024. – С. 390–399.*

УДК 636.5.034+629.7

Применение *Chlorella vulgaris* для повышения эффективности перепеловодства в ЭкоКосмоДоме

А.Э. Юницкий[1,2]
доктор философии транспорта

А.М. Павлюченко[2]

Н.В. Жешко[2]

[1] ООО «Астроинженерные технологии», г. Минск, Беларусь

[2] ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Беларусь

Рассмотрена возможность применения суспензии одноклеточной водоросли *Chlorella vulgaris* в ЭкоКосмоДоме (ЭКД) в качестве дополнительного корма для перепелов. Показан метод культивирования хлореллы: описаны установка для её выращивания, питательная среда и параметры микроклимата для приготовления суспензии.

Предложен способ содержания перепелов в ЭКД, изучены питательные свойства полученной от них продукции. Представлены исследования по введению в рацион птицы суспензии хлореллы. Определены качественные (содержание белка в белковой части яйца и желтке, доля деформированных яиц) и количественные (яйценоскость, рост живой массы) показатели продуктивности перепелов, получавших суспензию в качестве подкормки. Установлено её влияние на общую жизнедеятельность особей, состояние конечностей и перьевого покрова, а также на потребление перепелами корма.

Ключевые слова:
перепеловодство, продуктивность перепелов, установка для культивирования хлореллы, хлорелла, ЭкоКосмоДом (ЭКД).

UDC 636.5.034+629.7

Application of *Chlorella vulgaris* to Improve Efficiency of Quail Breeding in EcoCosmoHouse

A. Unitsky[1,2]
Dr. of Philosophy in Information Technologies (Transport)

A. Pauliuchenka[2]

N. Zheshka[2]

[1] Astroengineering Technologies LLC, Minsk, Belarus

[2] Unitsky String Technologies Inc., Minsk, Belarus

The possibility of using suspension of unicellular algae *Chlorella vulgaris* in the EcoCosmoHouse (ECH) as supplementary feeding for quails is considered. The method of chlorella cultivation is shown: the cultivation unit, nutrient medium and microclimate parameters for suspension preparation are described.

The method of keeping quails in the ECH is proposed, nutritional properties of the products obtained from them are reviewed. The studies on feeding chlorella suspension into poultry diets are presented. Qualitative (amount of protein from the protein part of egg and yolk, number of deformed eggs) and quantitative (egg-laying capacity, body-weight increase) productivity indicators regarding quails that received the suspension as a supplementary feeding, were determined. Its influence on the general vital activity of poultry, condition of limbs and feather cover as well as on feed intake by quails was established.

Keywords:
quail breeding, chlorella, chlorella cultivation unit, EcoCosmoHouse (ECH), quail performance.

Введение

Микроводоросли занимают особое место среди растительных организмов, поскольку с высокой эффективностью осуществляют уникальный процесс запасания солнечной энергии в продуктах фотосинтеза и являются организмами первого трофического уровня, синтезирующими органическое вещество в Мировом океане. При этом производительность морских и пресноводных микроводорослей сопоставима с продуктивностью наземной части всех растений, включая сельхозугодья [1].

В связи с широкомасштабным освоением космоса такие водоросли, прежде всего хлореллу, рассматривают как звено в замкнутых экологических системах, обеспечивающее биологическую регенерацию воздуха и воспроизводство пищи. Эту идею высказал ещё К.Э. Циолковский, который предположил, что данные растительные организмы способны утилизировать продукты метаболизма человека в процессе длительного космического перелёта и внеземного проживания.

К достоинствам микроводорослей следует отнести отсутствие заметных изменений в физиолого-популяционном состоянии и побочных эффектов при совместном существовании с человеком в замкнутых системах, высокую продуктивность кислорода (для хлореллы – 25–30 л в сутки с 1 л суспензии), а также возможность пополнения ими запасов пищи при сверхдлительных космических полётах [2, 3].

Согласно программе uSpace, разработанной инженером А.Э. Юницким, хлореллу планируется использовать в ЭкоКосмоДоме (ЭКД) для получения кислорода, очистки сточных вод, добавки в пищу человека [4, 5]. Кроме того, необходимо рассмотреть возможность применения *Chlorella vulgaris* в рационе сельскохозяйственных животных. В связи с этим данное исследование ставит целью изучение суспензии хлореллы в качестве кормовой добавки для улучшения продуктивных показателей перепелов, выращиваемых в ЭКД.

Хлорелла как элемент замкнутой экосистемы

Хлорелла (рисунок 1) – важный объект изучения в космической биологии как продуцент кислорода, питательных веществ, а также как организм, способный очищать атмосферу от вредных примесей. Она использовалась для производства кислорода в замкнутых экосистемах объектов «БИОС-1» и «БИОС-2». Согласно экспериментам около 10 л воды с данной микроводорослью хватает для нужд одного человека в углеродно-кислородном балансе [2, 6].

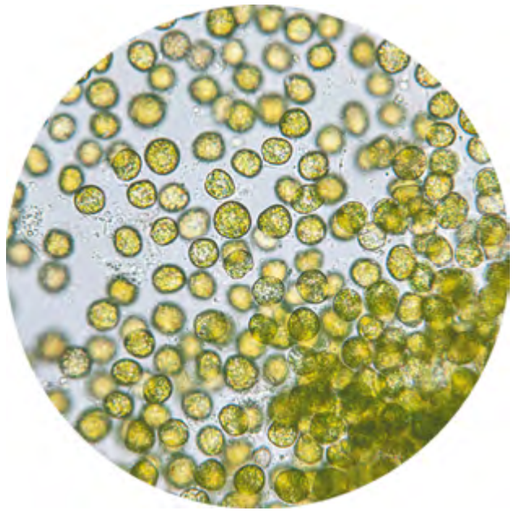


Рисунок 1 – *Chlorella vulgaris*

Хлорелла является источником белков, углеводов, липидов, витаминов. В её сухой биомассе имеется 42–58 % белка, 12–55 % углеводов, 5–40 % липидов и до 10 % минеральных веществ в зависимости от условий культивирования. В белке микроводоросли – более 40 аминокислот, в том числе все незаменимые. В её состав входят аспарагиновая, гамма-аминомасляная и глютаминовая кислоты, глицин, серин, аланин, цистин, тирозин, пролин, β-аланин. Объём нуклеиновых кислот в хлорелле варьирует от 4 до 7 % [6, 7].

Благодаря высокому наполнению витаминами и другими микронутриентами водоросль является высокоэффективной добавкой к растительным кормам и культурам сельскохозяйственного производства. В 1 г массы её сухого вещества содержится (мкг): каротина (провитамина А) – 1000–1600, витаминов B_1 – 2–18, B_2 – 21–28, B_6 – 9, С – 1300–5000, К – 6, РР – 110–180, Е – 10–350, пантотеновой кислоты – 12–17, фолиевой кислоты – 485, биотина – 0,1, лейковорина – 22. Кроме каротина, которого в хлорелле в 7–10 раз больше, чем, например, в шиповнике или сухих абрикосах, эта водоросль в отличие от высших растений включает также и витамин А в чистом виде до 1000 мкг в 1 г сухого вещества, а также провитамин D – 1000 мкг и витамин B_{12} – 0,0025–0,1 мкг.

В составе хлореллы широко представлены стероиды, стерины, кортикостероиды, сакогенины, стероидные алкалоиды, витамины группы D и другие соединения, играющие решающую роль на каждой стадии развития любого живого организма. Около 80 % жирных кислот микроводоросли приходится на ненасыщенные, являющиеся предшественниками простагландинов, обладающие высокой биологической активностью и обеспечивающие у животных гормональную регуляцию едва ли не всех физиологических процессов, а также сохранение гомеостаза.

В макро- и микроэлементный состав суспензии хлореллы входят кальций, фосфор, магний, калий, медь, железо, сера, цинк, кобальт, марганец, цирконий, рубидий и другие микроэлементы. Клетки водоросли богаты йодом [6–8].

В замкнутой по газу и воде экосистеме хлорелла может снабжать людей кислородом, поглощая углекислоту, а также утилизировать продукты их жизнедеятельности практически неограниченно долго (опыты длились до года), но при этом человек не способен полностью поглотить синтезируемую биомассу хлореллы [3]. Кроме того, невозможно использовать в пищу только данную микроводоросль из-за плохой перевариваемости её клеточной стенки и большого количества белка в её клетке [9, 10]. При этом биомасса хлореллы в виде суспензии, сухой массы или пасты отлично подойдёт как кормовая добавка для сельскохозяйственных животных, применение которой повышает устойчивость к инфекционным заболеваниям, нормализует обмен веществ, улучшает функцию пищеварительной системы, выводит из организма токсины [6, 11].

Культивирование хлореллы в условиях ЭкоКосмоДома

Питательная среда для культивирования хлореллы должна содержать макро-, микро- и ультрамикроэлементы, которые обеспечивают нормальную жизнедеятельность клеток. Вместе с тем в процессе приготовления в суспензии не должно оставаться большого количества неиспользованного азота и нитратов, иначе это приведёт к её непригодности для употребления животными.

Оптимизация питательной среды для выращивания хлореллы является эффективным методом повышения биосинтетической активности водоросли для получения биологически активных веществ, а также помогает сделать такие среды более экономичными. Отделом биотехнологий ЗАО «Струнные технологии» (г. Минск, Беларусь) экспериментально разработана собственная рецептура питательной среды для выращивания *Chlorella vulgaris*. Впервые в качестве дополнительных компонентов в состав среды введены стимуляторы роста растений (3 ИМК, 1 НУК, 6 БАП, 2,4 D, 2,4 D + 6 БАП и 1 НУК + кинетин).

Период культивирования для каждого эксперимента – 14 дней. В течение 10 из них проводились замеры (в колбах объёмом 500 мл) оптической плотности суспензии хлореллы во всех ёмкостях для контроля роста численности клеток. Для каждого этапа приготовлена одна колба стандартной среды Тамия (150 мл), для оптимизации которой выбраны показатели прироста клеток. Производилась корректировка по содержанию азота (KNO_3), калия и фосфора (KH_2PO_4), магния ($MgSO_4$) и стимуляторов роста. В результате сформирована питательная среда оптимального состава (KNO_3; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$; KH_2PO_4; $FeSO_4 \cdot 7H_2O$; ЭДТА; 6-БАП), имеющая минимальное количество нитратов, необходимое только для развития структуры самой клетки и её деления.

Разработанная среда показала большую пригодность для культивирования хлореллы в отличие от стандартной и способствовала постоянному увеличению концентрации исследуемой водоросли (рисунок 2). Среднее значение роста клеток на оптимизированной питательной среде составляло 3,4 млн/мл в день. Для сравнения: на среде Тамия – 1,7 млн/мл; на нефильтрованной воде – 0,7 млн/мл; на фильтрованной воде роста хлореллы не отмечалось.

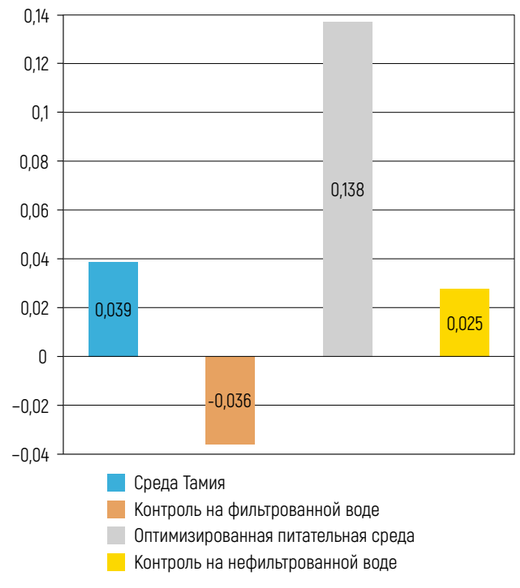


Рисунок 2 – Средний ежедневный прирост суспензии хлореллы (оптическая плотность)

Выращивание хлореллы производилось в экспериментальной установке ЗАО «Струнные технологии», которая предназначена для культивирования одноклеточных водорослей в полуавтоматическом режиме (рисунок 3). Устройство позволяет регулировать периоды освещения. В нашем случае использовались «день» (10 ч) и «ночь» (14 ч). Внутреннее пространство установки содержит четыре ёмкости для культивирования (номинальный объём каждой – 80 л), системы освещения, перемешивания, подачи углекислого газа и слива готовой суспензии.



Рисунок 3 – Экспериментальная установка
по выращиванию хлореллы:
1 – контейнер с ёмкостями;
2 – газовый баллон;
3 – шкаф управления; 4, 5 – крышки

В связи с тем, что основным абиотическим фактором, влияющим на рост и развитие хлореллы, является свет, то освещению уделялось особое внимание: организованы светодиодные лампы, охватывающие максимальную поверхность каждой ёмкости (рисунок 4). Внутреннее пространство установки оклеили алюминиевой фольгой, которая обеспечивала дополнительное отражение светового потока.

В процессе культивирования хлореллы в созданных условиях (экспериментальная установка, оптимизированная питательная среда, подходящие параметры микроклимата) удалось приготовить пригодную для выпаивания перепелов суспензию, имеющую достаточную однородность клеток во всех ёмкостях (рисунок 5) и специально подобранный химический состав. Полученные данные можно применить при организации биосферных процессов в ЭКД.

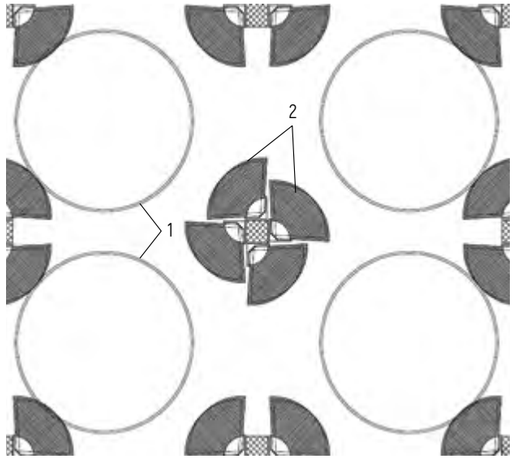


Рисунок 4 – Организация освещения внутри установки:
1 – ёмкости для выращивания хлореллы;
2 – лампы



Рисунок 5 – Суспензия хлореллы под микроскопом
(увеличение 40х)

Содержание перепелов в условиях ЭкоКосмоДома

В процессе длительных экспериментов в наземном комплексе «БИОС-3» с экипажем и высшими растениями выявлено, что в искусственной экологической системе «человек – высшие растения», замкнутой по газу на 100 %, водообмену на 80 % и пищевому процессу на 55 %, возможен устойчивый сбалансированный круговорот веществ. Однако продукты животного происхождения там оставались недоступными [9].

В изолированной замкнутой экосистеме оптимальным видится содержание мелких животных (кролики, козы, овцы, альпака, перепела, куры, небольшие хищники) [5], которые обладают высокой скоростью роста, коротким жизненным циклом, большой продуктивностью. Технологическое оборудование для их выращивания должно иметь минимальные объём и массу [12]. У некрупных организмов быстрее протекает метаболизм, что ускоряет процессы питания и движения элементов в закрытой экосистеме [5].

Большинству этих требований соответствуют перепела, для которых не нужны значительные площади, так как основным способом их содержания является клеточное (рисунок 6). Данные птицы характеризуются небольшими размерами, короткими периодами инкубации и полового развития, высокими продуктивностью и уровнем обмена веществ [12]. Они неприхотливы к условиям содержания, отличаются кротким нравом, издают приятные звуки и почти ежедневно осуществляют кладку яиц. Устойчивость перепелов к инфекционным заболеваниям позволяет выращивать их, не прибегая к вакцинации, а это исключает накопление в организме и яйцах медикаментозных веществ [13].

Птенцы японских перепелов способны расти и развиваться в условиях гиподинамии и длительной искусственной невесомости [14]. Кроме того, эмбриогенез данной птицы может протекать в невесомости без серьёзных затруднений [15].

При использовании перепелов для производства яиц и мяса в замкнутых экологических системах рекомендуется:

- размещать птицу в ячейках размером 120 × 159 × 100 мм, ограничивающих её движение;
- кормить перепелов влажным комбикормом (соотношение с водой 1 : 1), в 100 г которого содержится обменная энергия 1,140 МДж и сырой протеин 17 %;
- соблюдать световой режим с постоянным световым днём продолжительностью 13 ч 30 мин (освещённость от 35 лк, но не более 107 лк) [12].



Рисунок 6 – Клеточное содержание перепелов

Одна из особенностей перепелиных яиц – способность к длительному хранению. При комнатной температуре может наблюдаться только некоторое усыхание их содержимого, однако исключены случаи порчи из-за развития в них микроорганизмов. Перепелиные яйца и мясо считаются диетическими продуктами питания и используются при лечении многих заболеваний [13, 16]. По питательности такие яйца не уступают куриным, а по количеству некоторых витаминов (А, B_1, B_2), микроэлементов (магний, железо) и других питательных веществ даже превосходят их. У большинства выводковых птиц скорлупа яйца составляет свыше 10 % его массы, у перепелов – 7,2 %. В пяти перепелиных яйцах,

по массе равных одному куриному, содержится в пять раз больше калия, в 4,5 раза – железа, в 2,5 раза – витаминов B_1 и B_2. Кроме того, в данном продукте отмечено значительное количество витамина А, никотиновой кислоты, фосфора, меди, кобальта, лимитирующих (треонин, валин, изолейцин, лейцин, фенилаланин, гистидин, лизин) и прочих (серин, глутаминовая кислота, глицин, аргинин) аминокислот. Перепелиные яйца являются концентрированным биологическим набором необходимых человеку веществ и могут быть использованы в пищу целиком, вместе со скорлупой [13].

Применение суспензии хлореллы в качестве кормовой добавки для перепелов

Для повышения эффективности разведения перепелов часто прибегают к обогащению стандартных рационов питания. К числу живых кормовых добавок относится хлорелла, которая является также природным пробиотиком и обладает антагонистическими свойствами к патогенным микроорганизмам [17, 18].

В данном исследовании использован штамм микроводоросли *Chlorella vulgaris* IBCE C-19, характеризующийся высокой продуктивностью и отвечающий требованиям промышленного культивирования. Он имеет ярко выраженные планктонные свойства, в состоянии покоя осаждение клеток начинается через 6–15 дней. Перепела техасской породы выбраны для эксперимента ввиду их относительно большой массы (живая масса к 42-му дню больше на 27,6 и 22,4 % по сравнению с омской породой и фараон соответственно), повышенной скороспелости и неприхотливости в содержании.

Перепела выращивались с трёхнедельного до 250-дневного возраста для полного контроля эксперимента. На 48-й день стало возможным определять пол птенцов, и они были разделены на две группы по 17 особей: контрольная (стандартный рацион) и экспериментальная (рацион с кормовой добавкой хлореллы). Каждая группа состояла из 15 самок и двух самцов. Содержались перепела в клеточных сооружениях (рисунок 7). Кормушка крепилась к передней стенке клетки, а поилка – к боковой. Кормление осуществлялось вручную, исходя из нормы 25 г комбикорма до наступления половой зрелости и 35 г после. Технологические параметры (влажность воздуха, температура, освещённость) соответствовали требованиям, предъявляемым к выращиванию птицы.



Рисунок 7 – Опытные группы перепелов техасской породы

В процессе исследования суспензию хлореллы ежедневно добавляли экспериментальной группе перепелов через систему поения: в первую неделю содержания – из расчёта 5 мл/гол, через три недели – 15 мл/гол и в возрасте от 63 дней – 25 мл/гол. Контрольная группа получала чистую воду без добавления суспензии. Обозначенные нормы расхода комбикорма и микроводоросли использовались в полном объёме и не изменялись в течение данного эксперимента.

У перепелов, получавших к стандартному рациону кормовую добавку хлореллы, не было деформированных яиц на всём протяжении исследования. У контрольной группы 6 % яиц отбраковано по внешнему виду, в частности из-за состояния скорлупы (рисунок 8). Примерно равное количество некондиционной продукции выявлено в период высокой яйценоскости и при её снижении, т. е. фактор возраста не оказывал значимого влияния на деформацию яиц.

Нехватка микроэлементного состава наблюдалась у перепелов контрольной группы также в виде деформации суставов, которая приводила к снижению активной жизнедеятельности. Кроме того, замечены мозолистые образования. Подобные заболевания встречались и при использовании кормовой добавки хлореллы, но в меньшей степени: 6 % против 18 %. Наиболее подвержены таким деформациям особи третьей возрастной группы.

Кормовая добавка повышала яичную продуктивность перепелов на всём протяжении исследования (рисунок 9), однако не оказывала существенного воздействия на яйценоскость, связанную с возрастом птиц.

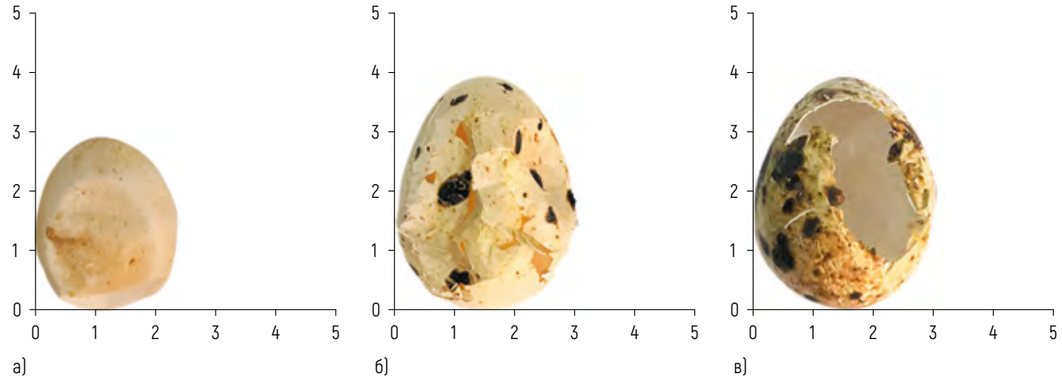


Рисунок 8 – Яйца перепелов контрольной группы: а – отсутствие скорлупы; б – тонкая скорлупа; в – хрупкая скорлупа

Нарушения роста и развития перьевого покрова наблюдались у двух групп птиц в течение всего эксперимента в соотношении девять особей контрольной группы к трём особям из группы, получавшей кормовую добавку. Возрастной фактор не влиял на этот параметр.

Комплексная нехватка витаминов у контрольной группы перепелов отражалась в уменьшении объёма составных частей, а также структурных компонентов откладываемых яиц (таблица). Количественные показатели (абсолютно сухой белок из белковой части яйца и абсолютно сухой белок из желтка) определялись по массе денатурированного белка при помощи соляной кислоты: учитывалось среднее значение трёх яиц по каждой группе.

В яйцах перепелов, получавших кормовую добавку хлореллы, наблюдалось увеличенное количество белка, включающего четыре заменимые аминокислоты (серин, глутаминовая кислота, глицин и аргинин) и семь незаменимых (треонин, валин, изолейцин, лейцин, фенилаланин, гистидин и лизин). Следовательно, выше оказалось и содержание этих аминокислот в самом яйце, что свидетельствует о лучшей организации метаболических процессов и трансформации питательных веществ в диетическую продукцию.

Кроме того, установлено, что перепела, получавшие кормовую добавку, несмотря на улучшение общего состояния, съедали в среднем на 23 % меньше комбикорма.

Таким образом, добавление к рациону перепелов суспензии *Chlorella vulgaris* улучшает их развитие, повышает продуктивность и снижает кормовое потребление, что в свою очередь может применяться для оптимизации производственных процессов в ЭКД.

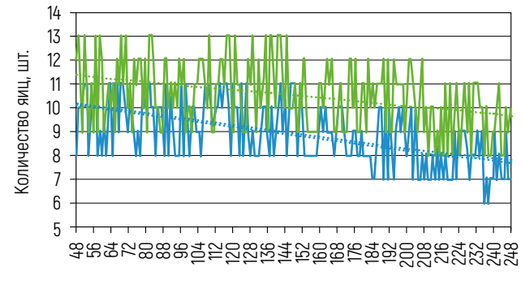


Рисунок 9 – Яичная продуктивность перепелов

Таблица – Количественные показатели исследуемых яиц

Показатель	Контрольная группа	Опытная группа, получавшая суспензию хлореллы
Объём сырого белка, мл	16	18
Масса сырого белка, г	15,8	16,16
Объём сырого желтка, мл	11	12
Масса сырого желтка, г	15,4	14,97
Абсолютно сухой белок из белковой части яйца, г	2,16	2,38
Абсолютно сухой белок из желтка, г	0,61	0,89

Заключение

Продукты животного происхождения играют важную роль в обеспечении человека питательными и биологически активными веществами, макро-, микро- и ультрамикроэлементами. В связи с этим для оптимальной жизнедеятельности людей в условиях ЭКД необходимо разрабатывать технологию содержания и кормления сельскохозяйственных животных в замкнутой экосистеме. Приемлемый вариант при ограниченности территории – использование мелких животных, отличающихся быстрым ростом, высокой степенью конверсии корма, значительной продуктивностью и не слишком затратным содержанием. Таким требованиям соответствуют перепела, от которых можно получить продукцию, обладающую диетическими свойствами. Кроме того, в качестве добавки в рацион данной птицы подойдёт микроводоросль хлорелла, которой в ЭКД отведена немаловажная роль: производство кислорода, поглощение углекислого газа, очистка сточных вод, применение в пищу. В её составе более 650 веществ, в том числе незаменимые аминокислоты, жиры, витамины, макро-, микро- и ультрамикроэлементы в легко усвояемом виде, что в целом оказывает значительное влияние на рост, развитие, мясную продуктивность и общее потребление корма у птиц.

Разработанная в отделе биотехнологий ЗАО «Струнные технологии» оптимизированная питательная среда для культивирования хлореллы позволила увеличить производительность водоросли в два раза по сравнению со стандартной питательной средой и в 4,8 раза по сравнению с водой. Вместе с тем в процессе исследования подобраны условия выращивания микроводоросли на оптимизированной питательной среде в экспериментальной установке, созданной отделом биотехнологий для получения суспензии хлореллы с целью дальнейшего её использования в качестве кормовой добавки.

Основные положительные эффекты от применения данной суспензии в рационе перепелов:

- улучшение качества яиц (количество белка из желтка и белковой части яйца больше по сравнению с контролем на 46 и 10 % соответственно, количество деформированных яиц меньше на 6 %);
- увеличение яйценоскости в среднем до 9 %;
- рост живой массы на 8 %;
- снижение количества патологий (на 12 % меньше заболеваний конечностей, на 35 % меньше нарушений роста перьевого покрова по сравнению с контролем);
- повышение усвояемости корма на 23 %.

Полученные данные будут полезны при налаживании биосферных процессов в ЭКД. Хлорелла, как мощный продуцент питательных веществ из солнечной энергии, углекислого газа, воды и минералов, – прекрасная кормовая добавка для перепелов. Те, в свою очередь, являются источником питательных веществ для человека, а продукты их жизнедеятельности могут использоваться для производства биогумуса и далее в качестве удобрения для растений. Таким образом будет поддерживаться постоянный круговорот веществ в условиях ЭКД.

Список основных источников

1. *Мельников, С. Хозяйственно полезные виды водорослей [Электронный ресурс] / С. Мельников, Н. Шалыго // В мире науки. – 2009. – № 3 (73). – Режим доступа: http://innosfera.by/node/381. – Дата доступа: 01.04.2024.*
2. *Кордюм, Е.Л. Космическая биология и медицина в Украине: история и перспективы / Е.Л. Кордюм // Наука та наукознавство. – 2016. – № 1. – С. 87 – 110.*
3. *Макарова, Е.И. Прикладные аспекты применения микроводорослей – обитателей водных экосистем / Е.И. Макарова, И.П. Отурина, А.И. Сидякин // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – 2009. – Вып. 20. – С. 120–133.*
4. *Юницкий, А.Э. Использование хлореллы для производства кислорода и очистки сточных вод в замкнутых экосистемах / А.Э. Юницкий, О.В. Синчук // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 199–205.*
5. *Организация внутреннего пространства ЭкоКосмоДома на планете Земля / А.Э. Юницкий [и др.] // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 12 сент. 2020 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – С. 332–343.*
6. *Пряслихин, А.В. Дополнительные источники белка к рациону сельскохозяйственных животных / А.В. Пряслихин, С.В. Карамушкина // Проблемы зоотехнии, ветеринарии и биологии животных на Дальнем Востоке: сб. науч. тр. – Благовещенск: Изд-во Дальневосточ. гос. аграр. ун-та, 2017. – Вып. 24. – С. 58–61.*
7. *Программа: «Хлорелла – интенсивное животноводство» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://agroserver.ru/articles/121.htm. – Дата доступа: 01.04.2024.*
8. *Morphology, Composition, Production, Processing and Applications of Chlorella vulgaris: A Review / C. Safi [et al.] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2014. – Vol. 35. – P. 265–278.*
9. *Веклич, А.В. Создание замкнутых систем жизнеобеспечения для осуществления космических полётов / А.В. Веклич, Д.А. Ерушевич, В.А. Шипунов // Евразийский научный журнал. – 2016. – № 7. – С. 219–221.*
10. *Detrell, G. Chlorella vulgaris Photobioreactor for Oxygen and Food Production on a Moon Base – Potential and Challenges [Electronic resource] / G. Detrell // Frontiers in Astronomy and Space Sciences. – 2021. – Vol. 8. – Mode of access: https://doi.org/10.3389/fspas.2021.700579. – Date of access: 01.04.2024.*
11. *Сидоренко, Ю.А. Практика применения водорослей в кормлении животных и её эффективность / Ю.А. Сидоренко, А.Н. Маслюк // Молодёжь и наука. – 2019. – № 12. – С. 43–45.*
12. *Афанасьев, Г.Д. Условия производства перепелиных яиц в замкнутых экологических системах и методы ресурсосбережения при промышленном производстве продуктов перепеловодства: автореф. дис. … д-ра с.-х. наук: 06.02.04 / Г.Д. Афанасьев; Моск. с.-х. акад. им. К.А. Тимирязева. – М., 2002. – 34 с.*
13. *Пигарева, М.Д. Разведение перепелов / М.Д. Пигарева. – М.: Россельхозиздат, 1978. – 80 с.*
14. *Growth of Japanese Quail Chicks in Simulated Weightlessness / P. Škrobánek [et al.] // Acta Vetirinaria Brno. – 2004. – Vol. 73, No. 2. – P. 157–164.*
15. *Influence of Simulated Microgravity on Leg Bone Development in Japanese Quail Chicks / P. Škrobánek [et al.] // Acta Vetirinaria Brno. – 2005. – Vol. 74, No. 4. – P. 475–481.*
16. *Харчук, Ю. Разведение и содержание перепелов / Ю. Харчук. – Ростов н/Д: Феникс, 2005. – 96 с.*
17. *Антибактериальная активность микроводоросли / Ю.А. Лысенко [и др.] // Молодой учёный. – 2015. – № 5.1 (85.1). – С. 17–20.*
18. *Cultivation and Chemical Composition of Microalgae Chlorella vulgaris and Its Antibacterial Activity Against Human Pathogens / P. Sampathkumar [et al.] // Journal of Aquaculture & Marine Biology. – 2017. – Vol. 5, iss. 3. – P. 65–71.*



УДК 635.83+629.7

Изучение процесса микосимбиотрофии базидиальных грибов

П.А. Буглак

Т.И. Пятакова

И.В. Налетов

ЗАО «Струнные технологии»,
г. Минск, Беларусь

В лабораторной установке проанализирована микоризация съедобных грибов родов *Boletus* и *Leccinum* с сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), барбарисом обыкновенным (*Berberis vulgaris* L.), клюквой обыкновенной (*Vaccinium oxycoccos* L.), берёзой повислой (*Betula pendula* Roth). Описан эксперимент симбиоза молодых саженцев и микоризных грибов.

Представлены сделанные под микроскопом фотографии корней саженцев, вступивших в симбиотические отношения с базидиальными грибами. С использованием бактерии *Bacillus amyloliquefaciens* проведена микробиологическая качественная реакция, определяющая присутствие хитинсодержащих компонентов в корневой системе испытуемых образцов. Выявлена способность к микоризообразованию с выбранными растениями, а также отмечено повышение устойчивой взаимосвязи культур, что может быть применено в замкнутой экосистеме биосферного типа ЭкоКосмоДома для включения грибов в рацион питания людей, проживающих на орбите.

Ключевые слова:
базидиальные грибы, микориза, микоризообразование, микосимбиотрофия, микробиологическая качественная реакция, микроскопирование, симбиоз, съедобные грибы, хитин, хитозан.

UDC 635.83+629.7

Study of Mycosymbiotrophy Process in Basidiomycete Fungi

P. Buglak

T. Pyatakova

I. Naletov

Unitsky String Technologies Inc.,
Minsk, Belarus

The mycorrhization of edible fungi from the genera *Boletus* and *Leccinum* with Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), common barberry (*Berberis vulgaris* L.), common cranberry (*Vaccinium oxycoccos* L.) and silver birch (*Betula pendula* Roth) was analyzed in a laboratory setup. The experiment on the symbiosis between young seedlings and mycorrhizal fungi is described.

Microscopic photographs of the roots of seedlings that entered into symbiotic relationships with basidiomycete fungi are presented. A microbiological qualitative reaction was performed using *Bacillus amyloliquefaciens*, determining the presence of chitin-containing components in the root systems of the tested samples. The ability to form mycorrhiza with the selected plants was discovered, and an increased stable relationship between the cultures was observed. This can be applied in the biospheric-type enclosed ecosystem of the EcoCosmoHouse for incorporating fungi into the diet of people living in orbit.

Keywords:
basidiomycete fungi, chitin, chitosan, edible fungi, microbiological qualitative reaction, mycorrhiza, mycorrhizal formation, mycosymbiotrophy, microscopy, symbiosis.

Введение

Грибы имеют длинную историю включения их в рацион питания человека. Особое значение придаётся тем видам, которые участвуют в симбиозе с растениями [1], поскольку такие грибы способны накапливать большое количество белка и быстрее наращивать плодовые тела.

Симбиотические грибы являются биологическими организмами, которые устанавливают длительные и взаимовыгодные отношения с корнями растений [2]. В результате мицелий получает доступ к питательным веществам, особенно органическим: углеводам, белкам и др. Грибы, в свою очередь, поставляют «партнёрам» больше питательных веществ и помогают усваивать воду и минеральные элементы из почвы [3].

Каждый участник этого союза эффективно использует ресурсы и энергию, что приводит к повышенной активности роста и развития. Благодаря такому процессу симбиотические грибы за более короткие сроки аккумулируют полезные вещества и производят свои плодовые клетки в организме, а значит, становятся особенно полезными в плане питания и экономической выгоды [4].

В европейских странах грибы всегда были ценным продуктом, который солили, сушили, мариновали, а также применяли в приготовлении супов, пирогов и др. Эти кулинарные навыки передавались из поколения в поколение, и многие из них до сих пор сохранились.

Выращивание грибов началось более 2000 лет назад. Древние греки, народы Италии, Франции, США, Японии, Китая и Юго-Восточной Азии занимались культивированием различных видов грибов, таких как шампиньоны, вёшенки, опёнки, шиитаке и др. [5]. В Беларуси съедобные грибы стали активно разводить с XIX в., хотя некоторые упоминания об этом можно найти и раньше. Практиковалось внесение мелкодисперсного зрелого мицелия грибов в почву под деревьями. Однако результаты не всегда оказывались успешными [6]. В 1878 г. в России была опубликована статья Н.Д. Никитина о выращивании съедобных грибов [7], в которой описывались положительные опыты с подберёзовиками и рыжиками.

В СССР первые серьёзные научные исследования в области грибоводства провела доцент МГУ Е.С. Клюшникова. В конце 1930-х годов она опубликовала работы, идеи которых имели широкое распространение. Было доказано, что выращиваемый гриб является однополым организмом. Е.С. Клюшникова также создала на кафедре низших растений МГУ школу для подготовки специалистов по съедобным грибам [8].

Культивирование высших грибов считается непростой задачей по причине сложного механизма симбиотического взаимодействия с растениями, поскольку не все их виды способны быть «хозяевами» для грибов-симбионтов. К тому же многие грибы отличаются избирательностью, что усложняет получение плодовых тел в искусственных условиях.

Выращивание грибов в замкнутой экосистеме ЭкоКосмоДома (ЭКД) позволит установить симбиоз между микоризой гриба и корневой системой растений. Это значительно улучшит отток питательных веществ со всей площади ЭКД и равномерно распределит их между растениями [9].

Целью статьи является создание лабораторной установки для микоризообразования между базидиальными грибами родов *Boletus* и *Leccinum* и растениями: сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), барбарисом обыкновенным (*Berberis vulgaris* L.), клюквой обыкновенной (*Vaccinium oxycoccos* L.), берёзой повислой (*Betula pendula* Roth). Благодаря данному исследованию можно подробно изучить влияние мицелия на корнеобразование и специфику взаимоотношений высших грибов с растениями. Полученные результаты помогут масштабировать и реализовать эксперимент в полевых условиях и разработать методику выращивания шляпочных грибов.

Материалы и методы эксперимента

Для изучения процесса микосимбиотрофии создана лабораторная установка в виде прозрачных узких контейнеров, выполненных из плотного поликарбоната (рисунок 1а).

В каждую ячейку высажено одно из четырёх растений (сосна обыкновенная, барбарис обыкновенный, клюква обыкновенная, берёза повислая), далее вносился мицелий базидиальных грибов родов *Boletus* и *Leccinum* (рисунок 1б).



а) б)

Рисунок 1 – Лабораторная установка для симбиотического взаимодействия растений и базидиальных грибов: а – внешний вид; б – внесение грибов

Мицелий культивировался в жидком сусло-бульоне (содержание сахаров – 7 % об.) при постоянном перемешивании на орбитальном шейкере PSU-10i (120 об/мин при 20 °C) до полного зарастания. Высадка растений осуществлена 21.02.2024, а добавление мицелия грибов – на следующий день. В ячейку с берёзой добавлен мицелий подберёзовика, а ко всем остальным саженцам – боровика. Культуры этих грибов получены и выделены в естественных условиях обитания.

В ходе эксперимента проведено несколько вариантов исследования образования микосимбиотрофии базидиальных грибов:

- микроскопирование среза корней (увеличение 10х) спустя пять месяцев выращивания – для визуального осмотра поверхности корешков и корневых волосков;
- микробиологический качественный анализ на присутствие хитозана, полученного из хитина в клеточной стенке грибов. Для исследования взят штамм бактерии *Bacillus amyloliquefaciens*, способный использовать хитин в качестве единственного источника углерода, для чего задействует несколько ферментов (экзохитиназы, эндохитиназы и N-ацетилглюкозаминидаза), которые образуют хитинолитический комплекс. В результате возникает отщепление ацетильной группы у хитина (рисунок 2).

Для подтверждения чистоты эксперимента предусмотрено применение различных субстратов. В начале подготовлена чистая культура бактерий штамма *Bacillus amyloliquefaciens*, а также подобрана специальная среда без источника углерода, чтобы бактерии использовали в качестве питания выбранные для эксперимента субстраты: аммоний сернокислый – 0,5 г/л, гидроортофосфат калия тригидрат – 0,26 г/л, хлорид натрия – 0,1 г/л, сульфат магния гептагидрат – 0,2 г/л, сульфат калия – 0,1 г/л.

В данной части эксперимента взяты очищенные от земли корни исследуемых растений, предположительно с микоризой гриба (подберёзовик и боровик), плодовое тело вёшенки обыкновенной и контрольные варианты субстрата: сухое молоко (источник простых углеводов), мука из панцирей крабов (источник хитина), песок и земля (для отрицательного контроля).

В отдельные пробирки со стерильной селективной средой (по 7 мл) внесено по 1 г всех видов подготовленных субстратов, а после в асептических условиях добавлено по 0,1 мл бактерии из «ночной» культуры. Культивирование образцов длилось двое суток при температуре 33 °C. После того как произошла адаптация к новому субстрату, проведена реакция окрашивания каплей спиртового раствора йодида калия.

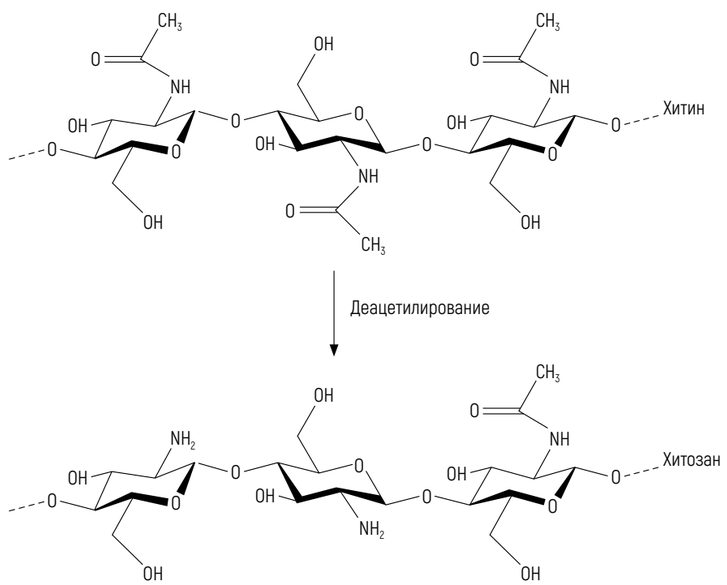


Рисунок 2 – Реакция деацетилирования хитина и получения хитозана

В качестве растворов сравнения использованы хитин (мука из панцирей крабов), хитозан и крахмал в селективной среде, которая применялась для культивирования микроорганизмов. В данные растворы добавлена капля спиртового раствора йодида калия.

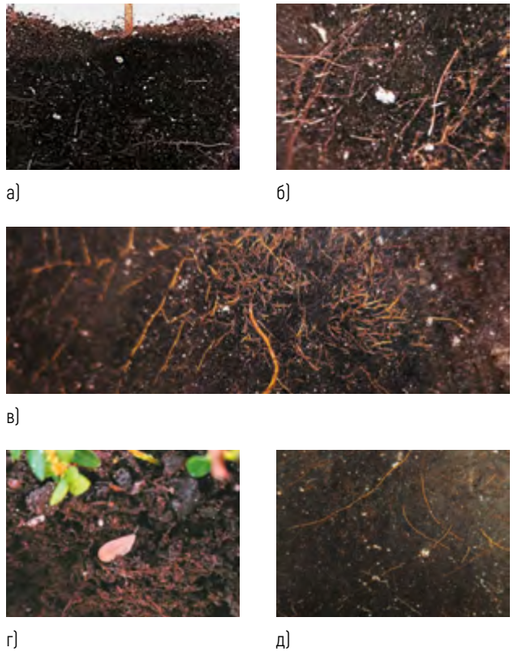
Результаты эксперимента

В ходе исследования осуществлялось наблюдение за растениями (рисунок 3, на момент окончания эксперимента) и образованием их корневой системы (рисунок 4). В ячейке с сосной визуально заметно точечное развитие мицелия (рисунок 4б).



а) б) в) г)

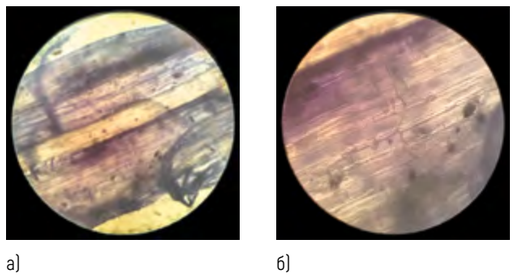
Рисунок 3 – Внешний вид исследуемых растений:
а – сосна; б – барбарис; в – клюква; г – берёза



а) б) в) г) д)

Рисунок 4 – Корневая система исследуемых растений:
а – сосна; б – базидиальный мицелий на корнях сосны;
в – барбарис; г – клюква; д – берёза

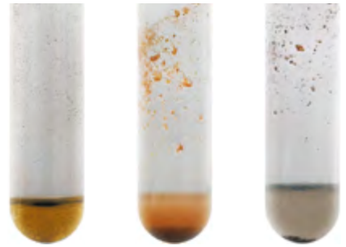
На образцах, которые промикроскопированы до применения микробиологического способа выявления хитина, обнаружены гифы грибов в клеточной структуре (рисунок 5), что говорит о симбиотических отношениях между растением и базидиомицетом.



а) б)

Рисунок 5 – Корешок берёзы с гифами гриба под микроскопом:
а – 100-кратное увеличение объектива;
б – 1000-кратное увеличение объектива

В процессе эксперимента, в котором применялись бактерии, в пробе с хитином наблюдались сильное помутнение среды, появление оранжево-розового цвета, а также образование тонкой плёнки и пузырьков (рисунок 6б). При добавлении йодида калия в пробирки с растворами сравнения (без культивирования бактерий), в одной из которых хитозан, а во второй – хитин, первый приобрёл оранжевый цвет, сохранявшийся длительный период, а второй изменил окрас на тёмно-фиолетовый, обесцвечиваясь с течением времени (рисунки 6а, 6в). Осадок в этих двух пробирках имел тёмную окраску.



а) б) в)

Рисунок 6 – Растворы сравнения
качественной реакции с йодидом калия:
а – хитозан; б – хитин, подверженный действию ферментов бактерий;
в – хитин

Плодовое тело вёшенки обыкновенной, сухое молоко, песок и земля после культивирования совместно с бактериями и после добавления капли йодида калия представлены на рисунках 7, 8.



а) б) в) г)

Рисунок 7 – Образцы, подобранные как источник питания
для бактерий до добавления йодида калия:
а – плодовое тело вёшенки; б – сухое молоко; в – песок; г – земля

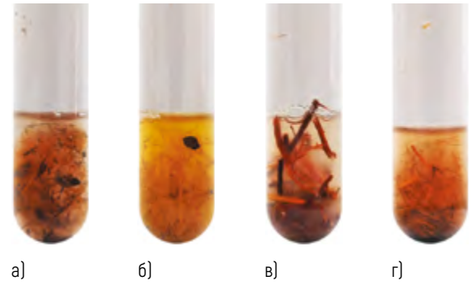


а) б) в) г)

Рисунок 8 – Образцы, подобранные как источник питания
для бактерий после добавления йодида калия:
а – плодовое тело вёшенки; б – сухое молоко; в – песок; г – земля

Из полученных данных видно, что плодовое тело вёшенки подверглось действию ферментов, поскольку окраска стала не такой интенсивной, но и не обесцветилась, однако это может указывать на более сложный процесс разрушения клеточной структуры в отличие от мицелиальной структуры базидиальных грибов. Проба на основе сухого молока приобрела яркий морковный цвет, который не менялся со временем, что свидетельствует об отсутствии углеводов и высоком содержании белков. В пробе с песком и землёй даже не наблюдалось развитие микроорганизмов, значит, не имелось каких-либо источников углерода для бактерий.

Рисунок 9 показывает, что в пробирках с корнями есть помутнение среды и образование тонкой плёнки, что говорит об активном росте численности микроорганизмов.



а) б) в) г)

Рисунок 9 – Корни растений после действия ферментов бактерий:
а – сосна; б – барбарис; в – клюква; г – берёза

После добавления в эти образцы йодида калия окрас раствора изменился на оранжевый либо оранжево-розовый.

У раствора, содержащего корни барбариса, появилось более интенсивное окрашивание, которое постепенно снижалось (рисунок 10).



а) б) в) г)

Рисунок 10 – Корни растений после действия ферментов бактерий и добавления йодида калия:
а – сосна; б – барбарис; в – клюква; г – берёза

В ходе визуального анализа полученных проб решено промикроскопировать образцы для изучения корневой структуры после обработки йодидом калия. На рисунке 11 видно потемнение краёв корней.

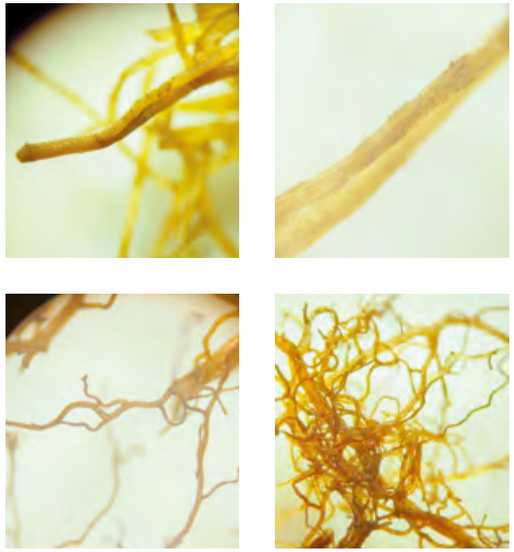


Рисунок 11 – Корни растений под микроскопом после проведения качественной реакции

Визуально оценивая результаты микробиологической качественной реакции, можно сделать вывод: в пробе с хитином, который подвергался действию ферментного комплекса, синтезируемого бактериями, находились и хитин, и хитозан. Этот эффект наблюдался и во всех пробах с корнями.

Заключение

В статье описан авторский подход в изучении взаимодействия базидиальных грибов и растений. Предложенный метод позволяет определять симбиоз высших и низших грибов с разными видами растений, даже без видимых признаков связей. Полученные результаты помогут разобраться в механизме образования и устойчивости микоризы, а также выявить культуры, способные к её формированию.

Анализ хитинового комплекса позволил сделать вывод о присутствии мицелия грибов на корнях всех исследуемых растений. Самый устойчивый симбиотический союз отмечен у берёзы повислой и подберёзовика обыкновенного: много хитиновых компонентов, встроенных в структуру и равномерно распределённых по молодым корням, стабильное оранжевое окрашивание. Несмотря на то что в ячейке с сосной обыкновенной наблюдался точечный рост мицелия базидиальных грибов, качественная реакция продемонстрировала, что сосуществование оказалось менее эффективным. Боровик имел наиболее многочисленные симбиотические отношения с растениями, поэтому на адаптацию к взаимодействию друг с другом понадобилось больше времени, а подберёзовик, как выяснилось в ходе эксперимента, – более избирательный вид базидиальных грибов.

Основываясь на полученных результатах, выбранный штамм бактерий (*Bacillus amyloliquefaciens*) можно применять для защиты растений от плесневых грибов, поскольку структура низших грибов намного проще, а значит, бактерии смогут конкурировать с ними за питательные компоненты. Этот штамм бацилл уже зарекомендовал себя в сельском хозяйстве как антибиотик и фунгицид для плодоовощных культур, подверженных влиянию патогенов. Кроме того, он предотвращает негативные реакции, возникающие из-за меняющихся условий почвы, которые могут быть восприняты растениями как стрессовый фактор, а также хорошо проявляет себя при разведении аквакультур.

Проведённый эксперимент подтверждает образование микоризы при внесении мицелия представленным способом. Следовательно, данную технологию можно использовать в замкнутой экосистеме ЭКД. Такой подход сбалансирует рацион питания людей, проживающих на орбите.

Устойчивое симбиотическое взаимодействие грибов и растений поможет улучшить состав плодородной почвы и далее поддерживать её микробиологическое разнообразие.

Список основных источников

1. *Cairney, J.W.G. Basidiomycete Mycelia in Forest Soils: Dimensions, Dynamics and Roles in Nutrient Distribution / J.W.G. Cairney // Mycological Research. – 2005. – Vol. 109, iss. 1. – P. 7–20.*
2. *Савинов, А.Б. Грибы как фактор симбиотической организации наземных экосистем / А.Б. Савинов // Современная микология в России. – 2017. – Т. 6, N° 4. – С. 252–255.*
3. *Hibbett, D.S. Evolutionary Instability of Ectomycorrhizal Symbioses in Basidiomycetes / D.S. Hibbett, L.B. Gilbert, M.J. Donoghue // Nature. – 2000. – Vol. 407. – P. 506–508.*
4. *Hood, I.A. The Mycology of the Basidiomycetes / I.A. Hood // Heart Rot and Root Rot in Tropical Acacia Plantations: Proceedings of a Workshop, Yogyakarta, 7–9 Feb. 2006; eds K. Potter, A. Rimbawanto, C. Beadle. – Canberra: ACIAR, 2006. – No. 124. – P. 34–45.*
5. *Chang, S.-T. Mushrooms: Cultivation, Nutritional Value, Medicinal Effect, and Environmental Impact / S.-T. Chang, P.G. Miles. – 2nd ed. – Boca Raton [et al.]: CRC Press, 2004. – 480 p.*
6. *Yamada, A. Cultivation of Mushrooms of Edible Ectomycorrhizal Fungi Associated with Pinus densiflora by in vitro Mycorrhizal Synthesis: I. Primordium and Basidiocarp Formation in Open-Pot Culture / A. Yamada, T. Ogura, M. Ohmasa // Mycorrhiza. – 2001. – Vol. 11. – P. 59–66.*
7. *Никитин, Н.Д. Опыты разведения съедобных грибов [Электронный ресурс] / Н.Д. Никитин // Вестник Российского общества садоводства. – 1878. – N° 4. – С. 227–232. – Режим доступа: https://viewer.rusneb.ru/ru/000199_000009_60000207791?page=43&rotate=0&theme=white. – Дата доступа: 07.08.2024.*
8. *Набоких, А.А. История становления и развития рынка культивируемых грибов [Электронный ресурс] / А.А. Набоких, А.В. Ряттель. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/istoriya-stanovleniya-i-razvitiya-rynka-kultiviruemyh-gribov/viewer. – Дата доступа: 07.08.2024.*
9. *Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы V междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 23–24 сент. 2022 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2023. – 320 с.*



УДК 665.52+629.7

Терапевтическое применение эфирных масел лекарственных трав в условиях ЭкоКосмоДома

Е.В. Веремко

А.В. Коледа

ЗАО «Струнные технологии»,
г. Минск, Беларусь

Рассмотрены возможности безотходного получения эфирных масел из лекарственных трав, выращенных в ЭкоКосмоДоме (ЭКД), их составы, свойства и особенности влияния на организм человека. Приведены примеры использования эфирных масел в терапевтических целях для профилактики и дополнительного лечения определённых заболеваний, вызванных особенностями проживания людей в замкнутом пространстве.

Созданы ароматические композиции, оказывающие комплексное оздоравливающее воздействие. Такие смеси могут применяться в замкнутых экосистемах (ЭКД-Земля, ЭКД космического индустриального ожерелья «Орбита», космический Ковчег для межзвёздных путешествий), а также в земных условиях как средства ароматерапии при проявлении соответствующих симптомов и в качестве биологически активных веществ с целью замены синтетических ароматизаторов при производстве натуральной косметической продукции.

Ключевые слова:
ароматерапия, биоутилизация, замкнутая экосистема, лекарственное растение, натуральный ароматизатор, ЭкоКосмоДом (ЭКД), экстракция, эфирное масло.

UDC 665.52+629.7

Therapeutic Use of Essential Oils from Medicinal Herbs in EcoCosmoHouse

Y. Viaremka

A. Kaliada

Unitsky String Technologies Inc.,
Minsk, Belarus

The possibilities of waste-free production of essential oils from medicinal herbs cultivated in the EcoCosmoHouse (ECH), their compositions, properties and peculiarities of impact on human organism are investigated. The examples of using essential oils for therapeutic purposes for prevention and add-on treatment of certain diseases caused by the peculiarities of living in confined spaces are provided.

Aroma compounds with a complex healing effect have been created. Such mixtures can be used in enclosed ecosystems (ECH-Earth, ECH of Industrial Space Necklace "Orbit", space Ark for interstellar travels) as well as in terrestrial conditions for aromatherapy in case of manifestation of corresponding symptoms and as biologically active substances to replace synthetic fragrances in the natural cosmetic products.

Keywords:
aromatherapy, bioutilization, EcoCosmoHouse (ECH), enclosed ecosystem, essential oil, extraction, medicinal herb, natural fragrance.

Введение

В условиях проживания человека на околоземной орбите при выборе способов терапии, а также методов производства лекарственных средств первостепенное значение имеют принципы экологичности, элементарности и безотходности.

В настоящее время наряду с традиционной медициной используются и набирают популярность альтернативные методы лечения, которые стали наиболее востребованы вследствие поиска экологичных способов существования на планете Земля. Одним из таких методов является ароматерапия, где в качестве действующих веществ выступают натуральные эфирные масла, извлекаемые из эфиромасличных частей растений.

Несмотря на то что условия, созданные для проживания людей на орбите, будут максимально приближенными к земным [1], нужно принимать во внимание следующий факт: поскольку человек изолирован от естественного УФ-излучения, то процессы, которые обычно происходят под воздействием Солнца на Земле, замедляются. Вместе с тем такое излучение стимулирует выработку витамина Д, который в свою очередь регулирует многочисленные жизненно важные процессы [2]; известно, что оно также влияет на психическое здоровье. Учитывая исследования предыдущих лет, можно предположить, что при отсутствии естественного солнечного света люди больше подвержены депрессии, потере жизненной энергии, ухудшению настроения и снижению работоспособности [3]. Кроме того, негативно сказывается на психологической устойчивости активное использование цифровых ресурсов (весомая составляющая жизни в техногенном обществе), что приводит к выгоранию, прокрастинации и хронической усталости [4]. В замкнутой экосистеме отрицательно влиять на человека, а именно на его когнитивные функции, иммунитет и нейрогенез, также может недостаток воздействия на обонятельные рецепторы раздражителей, в роли которых выступают молекулы ароматических веществ окружающего растительного мира [5]. Для нивелирования вышеупомянутых симптомов предлагается выполнять ароматерапевтические процедуры с применением композиций эфирных масел лекарственных трав.

Цель исследования – разработать композиции эфирных масел, которые при длительном пребывании в космическом пространстве можно использовать для ароматерапии, а также в качестве биологически активных веществ и замены синтетических ароматизаторов при производстве натуральной косметической продукции. Поставленные задачи: рассмотреть терапевтический эффект эфирных масел; предложить способы их получения в условиях ЭкоКосмоДома (ЭКД); подобрать компоненты и составить композиции.

Ароматерапия

Ароматерапия – разновидность традиционной медицины, которая использует летучесть компонентов эфирных масел лекарственных растений в лечебных целях.

Преимуществом поступления эфирных масел в организм через дыхательные пути является быстрый положительный эффект, оказываемый на его различные системы с последующим выведением без остаточных веществ [6]. Механизм действия эфирных масел заключается в психоэмоциональной и физиологической ответной реакции на содержащиеся в них биологически активные соединения, стимулирующие обонятельные нервные окончания, которые имеют связь с лимбической системой человека [7].

Ароматерапия оптимальна для профилактики заболеваний либо при их первых симптомах. При прогрессирующей болезни такое лечение может выступать как дополнительное, при котором выздоровление наступит быстрее [8].

Учитывая сложный и многокомпонентный состав эфирных масел, необходимо помнить об их возможной индивидуальной непереносимости и, как следствие, возникновении нежелательных реакций организма, таких как першение в горле, кашель, зуд, раздражение кожи, изменение артериального давления. Для того чтобы избежать данных побочных явлений, предварительно нужно проводить обонятельную или накожную пробу [9].

Способы получения эфирных масел

Для комфортного проживания человека в ЭКД будет смоделирована биосфера планеты [1], что позволит создать благоприятные условия для культивирования растений, которые широко используются в косметологии и медицине.

Ранее проработан вопрос выращивания в ЭКД лекарственных трав с целью получения вытяжек и настоек для наружного и внутреннего применения [10]. Это возможно благодаря наличию в таких растениях флавоноидов, сапонинов, каротиноидов и других фитонутриентов, способных растворяться в воде и спирте и переходить в итоговый раствор при настаивании и кипячении. Кроме указанных компонентов в некоторых культурах присутствуют также ценные липофильные соединения – эфирные масла, которые представляют собой легколетучие многокомпонентные маслянистые жидкости, состоящие из терпенов и терпеноидов, кетонов, аминов, фенолов, альдегидов и других ароматических соединений и определяющие запах растений [11].

Для выделения эфирных масел из растительного сырья задействуются различные методы: прессование, экстракция, мацерация [12], но в условиях ЭКД наибольший интерес представляет экономичный и технологичный процесс перегонки с водяным паром. Данный способ позволяет извлечь рассматриваемые вещества в полном объёме и в то же время сохранить их биологическую активность.

Оставшийся после получения эфирных масел растительный материал планируется утилизировать при помощи микроорганизмов и затем вводить в состав производимого в ЭКД биогумуса [13]. Подобный метод является одним из самых эффективных и экономичных биотехнологических способов переработки органических отходов. Поскольку посредством паровой дистилляции извлекаются только летучие компоненты, то использованное сырьё будет содержать большое количество других биологически активных веществ, значит, полученный в результате биоутилизации гумус сможет применяться для подкормки растений.

Составление композиций эфирных масел

Как правило, в составе эфирного масла одного растения отмечается присутствие сразу нескольких основных действующих компонентов, которые имеют разную природу и оказывают комплексное оздоравливающее влияние на организм [14]. Учитывая возможные недомогания, вызванные особенностями проживания человека в замкнутом пространстве, наибольший интерес при создании ароматерапевтических композиций, предназначенных для применения в ЭКД, представляют свойства эфирных масел [15], приведённые в таблице 1.

При приготовлении терапевтических композиций в первую очередь определяют их целевое назначение и релевантные компоненты. Далее, основываясь на химическом составе, ингредиенты подбирают таким образом, чтобы за счёт суммирования преобладающих активных веществ проявлялась синергия свойств. Для того чтобы предотвратить нежелательные потенциальные взаимодействия компонентов, рекомендуется использовать не более пяти эфирных масел в смеси. Кроме того, для повышения субъективной привлекательности полученного аромата необходимо придерживаться принципа комплиментарности запахов [16].

Таблица 1 – Свойства эфирных масел

Свойства	Эфирные масла
Расслабляющие и успокаивающие	Герань, майоран, жасмин, мелисса, ромашка, валериана, душица, лаванда, нероли, можжевельник, гардения, шалфей, ваниль, чайное дерево, ладан, лавр, лемонграсс, сандал, иланг-иланг, фенхель, пачули
Антисептические	Чабрец, гвоздика, душица, анис, базилик, бергамот, лимон, грейпфрут, шалфей, корица, можжевельник, лемонграсс, чайное дерево, мята, эвкалипт, тимьян, орегано, иссоп, календула, лавр, нероли, цитронелла
Укрепляющие иммунитет	Базилик, вербена, ветивер, эвкалипт, кедр, лимон, шалфей, лаванда, мята, мелисса, розмарин, ладан, иссоп, пижма, цитронелла
Улучшающие сон	Мелисса, роза, мята, кипарис, жасмин, ромашка, бергамот, шалфей, сандал, можжевельник, фенхель, базилик, иланг-иланг, нероли
Повышающие работоспособность и стимулирующие мозговую деятельность	Бессмертник, корица, вербена, гвоздика, магнолия, кориандр, лимон, грейпфрут, мандарин, шалфей, лаванда, можжевельник, мята, розмарин, эвкалипт, чайное дерево

Согласно исследованиям [17] приятные ароматы улучшают когнитивные функции, повышают качество жизни и стабилизируют самочувствие, поэтому при составлении композиций авторами настоящей статьи выбраны эфирные масла, которые общепризнаны приятно пахнущими: цветочные, цитрусовые, древесные и их сочетания.

На основании данных о влиянии эфирных масел на физиологическое состояние человека, а также правил сочетания ароматов разработаны варианты композиций эфирных масел лекарственных трав (рисунок).

1. Успокаивающая смесь из эфирных масел лаванды, можжевельника и мяты. Хвойная, пряная ароматическая композиция.

Преобладающий в составе эфирного масла лаванды линалоол (20–30 %) обеспечивает снижение психофизиологической напряжённости, стабилизирует нервную систему и устраняет беспокойство, депрессию и бессонницу [18].

Содержащиеся в эфирном масле можжевельника α-пинен (30–60 %) и β-пинен (8–15 %) способствуют сглаживанию импульсивности, резкости и приводят в порядок эмоциональный фон человека [19].



Рисунок – Разработанные композиции эфирных масел

Включающее практически 90 % ментола эфирное масло мяты оказывает положительное влияние на психоэмоциональное состояние, снимает стресс и уменьшает чувство тревоги [20].

Пропорции композиции: 50 % эфирного масла лаванды, 25 % эфирного масла можжевельника, 25 % эфирного масла мяты.

2. Антисептическая смесь из эфирных масел гвоздики, бергамота, чайного дерева и лавра. Пряная, терпкая, травяная ароматическая композиция.

Основным компонентом эфирного масла гвоздики является эвгенол (70–85 %), который подавляет активность патогенных микроорганизмов [21].

Присутствующие в эфирном масле бергамота D-лимонен (20–45 %) и линалилацетат (до 15 %) эффективно дезинфицируют и обеззараживают [22].

Входящий в состав эфирного масла чайного дерева терпинен-4-ол (30–45 %) обеспечивает его бактерицидное действие [23].

Содержащийся в эфирном масле лавра цинеол (25–70 %) считается эффективным природным антиоксидантом [24].

Пропорции композиции: 20 % эфирного масла гвоздики, 40 % эфирного масла бергамота, 20 % эфирного масла чайного дерева, 20 % эфирного масла лавра.

3. Укрепляющая иммунитет смесь из эфирных масел вербены и кедра. Древесно-цитрусовая композиция.

Эфирное масло вербены содержит цитраль (30–45 %), который ускоряет обменные процессы в организме, оптимизирует работу иммунитета [25].

Главные компоненты эфирного масла кедра цедрол (15–40 %) и цедрен (10–30 %) оказывают тонизирующее и стимулирующее действие, способствуют быстрому восстановлению сил и энергии при болезнях и чрезмерных нагрузках на нервную систему [26].

Пропорции композиции: 33,2 % эфирного масла вербены, 66,8 % эфирного масла кедра.

4. Улучшающая сон смесь из эфирных масел шалфея, сандала и нероли. Мускусная, древесно-цветочная ароматическая композиция.

Эфирное масло шалфея помогает расслабиться, снимает напряжение, успокаивает нервную систему благодаря содержащимся в нём туйону (30–45 %) и камфоре (до 25 %) [27].

Эфирное масло сандала используется для устранения бессонницы и стрессовых состояний организма. Основные компоненты α-санталол (41–55 %) и β-санталол (16–24 %) отвечают за биологическую активность масла [28].

Эфирное масло нероли содержит линалоол (23–54 %), который оказывает седативное действие на нервную и сердечно-сосудистую системы [29].

Пропорции композиции: 33,3 % эфирного масла шалфея, 33,4 % эфирного масла сандала, 33,3 % эфирного масла нероли.

5. Повышающая работоспособность смесь из эфирных масел лимона, розмарина, магнолии и корицы. Цветочно-цитрусовая, пряная ароматическая композиция.

Благодаря входящему в состав D-лимонену (до 90 %) эфирное масло лимона повышает концентрацию внимания, стимулирует умственную активность и мотивирует к деятельности [20].

Преобладающими компонентами эфирного масла розмарина являются α- и β-пинены (около 30 %), которые помогают снизить тревожность, акцентировать внимание и повысить выносливость организма [20].

Эфирное масло магнолии улучшает память и умственную концентрацию за счёт содержащегося в нём сабинена (10–20 %) [30].

Эфирное масло корицы устраняет синдром хронической усталости, стимулирует творческий подъём благодаря находящемуся в составе коричному альдегиду (65–80 %) [31].

Пропорции композиции: 25 % эфирного масла лимона, 25 % эфирного масла розмарина, 25 % эфирного масла магнолии, 25 % эфирного масла корицы.

Полученные смеси эфирных масел рекомендованы к применению в замкнутых экосистемах, при длительном пребывании в космическом пространстве, а также могут использоваться в земных условиях в случае возникновения определённых симптомов. Сеанс ароматерапии должен длиться 20–30 мин при концентрации эфирного масла 1–3 мг/м^3, что соответствует вдыханию человеком, находящимся в спокойном и расслабленном состоянии, около 0,1–0,6 мг эфирного масла, необходимого для оказания терапевтического эффекта [14].

Поскольку микроклимат в ЭКД будет способствовать круглогодичному выращиванию и сбору урожая лекарственных трав, то отличительной особенностью разработанных смесей является их высокая биологическая активность, которая не утрачивается благодаря задействованию ароматических композиций непосредственно после получения. Возможность поддержания на постоянном уровне условий культивирования эфиромасличных растений положительно отразится на составе эфирного масла, так как его свойства могут изменяться в зависимости от климата, а в нашем случае они будут постоянными. Кроме того, можно быть уверенными: при выращивании сырья и получении из него эфирных масел применяются технологии, не использующие химические реагенты и позволяющие сохранить полезные свойства извлечённых веществ, что полностью поддерживает концепцию натуральности продукта.

Применение композиций эфирных масел в косметике

Проявление свойств эфирных масел зависит от способа их использования, поскольку они представляют собой многокомпонентные смеси. Кроме поступления эфирных масел в организм человека с помощью органов обоняния, в условиях замкнутой экосистемы рационально местное применение данных веществ в составе натуральной косметики [32]. Это позволит минимизировать количество ингредиентов, входящих в продукцию для ухода за телом, и вместе с тем сделает её более эффективной за счёт содержащихся в эфирных маслах активных компонентов. Действие разработанных композиций в составе косметических средств показано в таблице 2.

Таблица 2 – Действие композиций эфирных масел в составе косметических средств

Композиция	Эфирное масло	Действие
Успокаивающая	Лаванда	Ускоряет заживление кожных ран
	Можжевельник	Регенерирует кожу, снимает отёчность
	Мята	Эффективно при угревой сыпи
Антисептическая	Гвоздика	Повышает проницаемость кожи, тем самым усиливая эффективность косметических средств
	Бергамот	Способствует сужению пор; маскирует специфические запахи сырьевых компонентов
	Чайное дерево	Оказывает противовоспалительный эффект
	Лавр	Осветляет пигментные пятна, отбеливает кожу
Укрепляющая иммунитет	Вербена	Разглаживает и тонизирует кожу, повышает её упругость
	Кедр	Омолаживает кожу, повышает её тургор
Улучшающая сон	Шалфей	Эффективно для борьбы с растяжками; способно продлевать срок годности косметических средств
	Сандал	Оказывает смягчающее и успокаивающее действие
	Нероли	Способствует регенерации кожи, разглаживанию морщин
Повышающая работоспособность	Лимон	Стимулирует кровообращение, регулирует функции сальных желёз
	Розмарин	Помогает бороться с преждевременным увяданием кожи
	Магнолия	Эффективно при борьбе с пигментацией
	Корица	Устраняет бледность, улучшает цвет лица

Таким образом, применение разработанных композиций эфирных масел в косметической продукции позволяет заменить синтетические ароматизаторы на натуральные, получить мультиуходовые средства с минимальным количеством сырьевых компонентов, а также полностью соответствует идеологии производства натуральной и эффективной косметики в ЭКД. Однако следует помнить, что для достижения желаемого результата необходимо не превышать строго регламентируемую норму допустимого ввода данных веществ в состав косметических средств, которая существует из-за высокой активности эфирных масел, связанной с их физико-химическими и биологическими свойствами.

Заключение

На основании теоретического анализа длительного проживания человека на земной орбите в ЭКД (многие годы) и в условиях межзвёздных путешествий в космических Ковчегах (многие тысячелетия) сделан вывод о необходимости поиска доступных и экологичных методов поддержания здоровья людей.

Для сохранения и нормализации психологического состояния разработано пять композиций эфирных масел, предназначенных для проведения сеансов ароматерапии, а также для применения в качестве ингредиентов натуральных косметических средств. Аргументирована их эффективность, изготовлены образцы. Технология получения указанных смесей является упрощённой и безотходной, что полностью соответствует концепции экологичного и технологически простого производства в ЭКД.

Планируется продолжение исследований в данном направлении: расширение линейки композиций эфирных масел и наблюдение за их влиянием на здоровье человека.

Список основных источников

1. *Юницкий, А.Э. Особенности проектирования жилого космического кластера «ЭкоКосмоДом» – миссия, цели, назначение / А.Э. Юницкий // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 51–57.*
2. *Веремко, Е.В. Разработка рецептур косметических средств, содержащих витамин D, для использования в ЭкоКосмоДоме / Е.В. Веремко, А.В. Коледа // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы VI междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 7–8 окт. 2023 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2024. – С. 400–409.*
3. *Influence of External Natural Environment Including Sunshine Exposure on Public Mental Health: A Systematic Review / K. Taniguchi [et al.] // Psychiatry International. – 2022. – Vol. 3, iss. 1. – P. 91–113.*
4. *Водопьянова, Н.Е. Работа в цифровой среде: новые вызовы к профессиональному здоровью человека / Н.Е. Водопьянова, О.Е. Журбий // Психология здоровья и болезни: клинико-психологический подход: материалы XIII всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Курск, 30 нояб. – 1 дек. 2023 г. / под ред. В.А. Липатова. – Курск: КГМУ, 2023. – С. 50–56.*
5. *Быстрова, М.Ф. Правило «один нейрон – один рецептор» в физиологии и генетике обоняния / М.Ф. Быстрова, С.С. Колесников // Успехи физиологических наук. – 2020. – Т. 51, № 3. – С. 3–15.*
6. *Ярош, А.М. Эфирные масла растений для коррекции психоэмоционального состояния и умственной работоспособности человека / А.М. Ярош, В.В. Тонковцева; под общ. ред. Ю.В. Плугатаря. – Симферополь: ИТ «Ариал», 2020. – 148 с.*
7. *Гудкова, А.В. Влияние ароматерапии на психоэмоциональное состояние человека / А.В. Гудкова, Н.Л. Ильина // Международный научный журнал «Вестник науки». – 2023. – Т. 4, № 12 (69). – С. 1202–1204.*
8. *Юдина, В.В. Ароматерапия. Профилактика простудных заболеваний с помощью эфирных масел / В.В. Юдина // Актуальные вопросы науки и техники: сб. ст. II междунар. науч.-практ. конф., Пенза, 25 апр. 2020 г. / отв. ред. Г.Ю. Гуляев. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2020. – С. 131–134.*
9. *Тихомиров, А.А. Принципы использования эфирных масел для медицинских целей / А.А. Тихомиров // Сборник научных трудов ГНБС. – 2014. – Т. 139. – С. 116–126.*
10. *Шахно, Е.А. Лекарственные растения для ЭкоКосмоДома: подбор, условия выращивания, область применения / Е.А. Шахно, Н.С. Зыль // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы IV междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 18 сент. 2021 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2022. – С. 283–291.*
11. *Туманова, Е.Ю. Энциклопедия эфирных масел / Е.Ю. Туманова. – М.: Рипол-классик, 2014. – 256 с.*
12. *Егорова, А.М. Биотехнологические методы производства эфирных масел / А.М. Егорова, О.В. Решетникова // III Лужские научные чтения. Современное научное знание: теория и практика: материалы междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 22 мая 2015 г. / Ленинград. гос. ун-т им. А.С. Пушкина; отв. ред. Т.В. Седлецкая. – СПб.: ЛГУ им. А.С. Пушкина, 2015. – С. 67–74.*
13. *Биоутилизация органических остатков при помощи микроорганизмов / А.Э. Юницкий [и др.] // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы VI междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 7–8 окт. 2023 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2024. – С. 390–399.*
14. *Фитотерапия и ароматерапия / Н.Н. Петришина [и др.] // Научный и инновационный потенциал развития производства и переработки эфиромасличных и лекарственных растений Евразийского экономического союза / под ред. В.С. Паштецкого. – Симферополь: ИТ «Ариал», 2021. – С. 75–83.*
15. *Essential Oils Used in Aromatherapy: A Systemic Review / A. Babar [et al.] // Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine. – 2015. – Vol. 5, iss. 8. – P. 601–611.*
16. *Экспериментальное обоснование принципов составления композиций эфирных масел / В.Г. Овчинников [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2. – С. 501.*
17. *Влияние запаха на физиологические, эмоциональные и когнитивные аспекты здоровья человека в экспериментальных условиях (обзор литературы) / С.В. Иванова [и др.] // Гигиена и санитария. – 2020. – Т. 99, № 12. – С. 1370–1375.*
18. *Бочко, Т.Н. Определение компонентного состава эфирных масел лаванды Lavandula spp. / Т.Н. Бочко, Ю.П. Дубовик, Ю.А. Савельева // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя хімічных навук. – 2023. – Т. 59, № 4. – С. 295–301.*
19. *Исследование эфирного масла шишкоягод Juniperus communis L. различного происхождения в рамках научного направления «Фармацевтический ремейк» / О.О. Новиков [и др.] // Научный результат. – 2016. – Т. 2, № 2. – С. 27–36.*
20. *Пономарёва, Е.И. Применение эфирных масел в фармации / Е.И. Пономарёва, Е.И. Молохова, А.К. Холов // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 4. – С. 567.*
21. *Кароматов, И.Д. Перспективное лекарственное растение – гвоздичное дерево / И.Д. Кароматов, Р.С. Халилова // Биология и интегративная медицина. – 2021. – № 3 (50). – С. 115–152.*
22. *Оценка качества эфирных масел с помощью анализа ГХ-МС / А.К. Атаева [и др.] // Медицина и экология. – 2020. – № 1 (94). – С. 64–76.*
23. *Tea Tree Oil: A Promising Essential Oil / E. Yadav [et al.] // Journal of Essential Oil Research. – 2017. – Vol. 29, iss. 3. – P. 201–213.*
24. *Биологически активные вещества листьев лавра благородного / Н.М. Насухова [и др.] // Фармация и фармакология. – 2017. – Т. 5, № 3. – С. 200–221.*
25. *Лечебные свойства вербены лекарственной / Н.С. Рузиева [и др.] // Биология и интегративная медицина. – 2021. – № 2 (49). – С. 210–220.*
26. *Лыков, И.Н. Изучение антимикробной активности эфирных масел / И.Н. Лыков, А.С. Муравьёва, К.О. Петелина // The Scientific Heritage. – 2021. – Т. 2, № 81. – С. 28–32.*
27. *Работягов, В.Д. Изучение компонентного состава эфирного масла в вегетативных и генеративных органах шалфея лекарственного / В.Д. Работягов, С.П. Кутько // Бюллетень ГНБС. – 2016. – № 119. – С. 26–30.*
28. *A Comparison of the Composition of Selected Commercial Sandalwood Oils with the International Standard / M. Kucharska [et al.] // Molecules. – 2021. – Vol. 26, iss. 8. – 2249.*
29. *Variations in Chemical Compositions of Essential Oil from Sour Orange (Citrus aurantium L.) Blossoms by Different Isolation Methods / A. Mohagheghniapour [et al.] // Sustainable Chemistry and Pharmacy. – 2018. – Vol. 10. – P. 118–124.*
30. *Profiles of Essential Oils and Correlations with Phenolic Acids and Primary Metabolites in Flower Buds of Magnolia heptapeta and Magnolia denudata var. purpurascens / H. Hyeon [et al.] // Molecules. – 2022. – Vol. 27, iss. 1. – 221.*
31. *Rao, P.V. Cinnamon: A Multifaceted Medicinal Plant / P.V. Rao, S.H. Gan // Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine. – 2014. – Iss. 1. – 642942.*
32. *Koyama, S. The Effects of Essential Oils and Terpenes in Relation to Their Routes of Intake and Application / S. Koyama, T. Heinbockel // International Journal of Molecular Sciences. – 2020. – Vol. 21, iss. 5. – 1558.*

УДК 631.338+629.7

Разработка и создание оборудования для культивирования растений в условиях искусственной среды

А.Э. Юницкий[1,2]
доктор философии транспорта

А.А. Сохор[2]

В.В. Василевич[2]

[1] ООО «Астроинженерные технологии», г. Минск, Беларусь

[2] ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Беларусь

Цель работы – изучение методов выращивания культур в замкнутых искусственных средах, а также усовершенствование этих способов для использования в гумусопонных системах. Представлены природные гумусопонные технологии культивирования растений в условиях искусственной среды ограниченного объёма с применением эликсира плодородия uTerra. На основании анализа существующих решений и полученных экспериментальных данных сформулированы технические требования к оборудованию и изготовлены его опытные образцы, которые помогут рационализировать процесс выращивания различных культур.

Предложенная концепция оптимальна при освоении космоса, Арктики, Антарктики и Заполярья, а также при создании подводных городов. Кроме того, она будет актуальной в условиях современного техногенеза, в частности при реализации проектов «ЭкоКосмоДом», «ЭкоКосмоДом на планете Земля» и экваториального линейного города для нужд космического индустриального ожерелья «Орбита». Апробация предложенного оборудования позволит разрабатывать и совершенствовать новые уникальные системы гумусопонного производства растений в условиях искусственной среды.

Ключевые слова:
гумусопоника, гумусопонная ферма, гумусопонный стенд, искусственная среда, культивирование растений, растениеводство, эликсир плодородия uTerra.

UDC 631.338+629.7

Development and Creation of Equipment for Growing Plants in Artificial Environment

A. Unitsky[1,2]
Dr. of Philosophy in Information Technologies (Transport)

A. Sokhor[2]

V. Vasilevich[2]

[1] Astroengineering Technologies LLC, Minsk, Belarus

[2] Unitsky String Technologies Inc., Minsk, Belarus

The purpose of this work is to investigate the methods for growing plants in enclosed artificial environments and to improve these methods for use in humusoponic systems. Natural humusoponic cultivation technologies are presented for growing plants in limited-volume artificial environment, utilizing the uTerra fertility elixir. Based on the analysis of existing solutions and experimental data, technical requirements for the equipment have been formulated and prototypes have been developed to streamline the process of growing various crops.

The proposed concept is optimal for space exploration, as well as for the Arctic, Antarctica and the Polar regions, and for the creation of underwater cities. Additionally, it is relevant in the context of modern technogenesis, particularly for the implementation of projects like "EcoCosmoHouse", "EcoCosmoHouse on planet Earth" and the Equatorial Linear City for the needs of the Industrial Space Necklace "Orbit". Testing the proposed equipment will facilitate the development and refinement of new unique systems for humusoponic plant production in artificial environment.

Keywords:
artificial environment, crop production, humusoponic farm, humusoponic stand, humusoponics, plant cultivation, uTerra fertility elixir.

Введение

Питание – основной процесс, который обеспечивает людей материалами, необходимыми для построения и развития здорового организма. Человеку следует поддерживать, а также постоянно восполнять потребность в макро-, микро- и ультрамикроэлементах, витаминах и других веществах, которые содержатся в пищевых продуктах в виде тысяч различных сложнейших органических соединений. Большинство химических элементов таблицы Менделеева (более 80) входят в состав тканей и жидкостей человека, участвуя в десятках тысяч биохимических процессов в каждой живой клетке. Соответственно, они нужны для нормального функционирования всех систем жизнедеятельности многоклеточного организма. Пища – не только источник энергии, но и строительный материал для живого организма, именно от качества еды во многом зависит состояние здоровья и долголетие [1].

Особенно важно обеспечить человека здоровым питанием в сложных условиях освоения космоса, Арктики, Антарктики и Заполярья, а также при создании подводных городов. Традиционное земледелие в данном случае невозможно или крайне затруднено. Значит, необходимы новые процессы, технологии, оборудование, т. е. разработка искусственной среды, позволяющей культивировать растения при неблагоприятных внешних факторах, ограниченном пространстве и коротком или отсутствующем световом дне.

В настоящее время всё больше людей проявляет интерес к здоровому и экологически чистому образу жизни. Возрастает потребность человека в формировании индивидуального рациона питания, включающего качественные, свежие, натуральные и экологичные продукты. Кроме того, сегодня более 50 % населения живёт в городах, следовательно, особую актуальность приобретают способы выращивания овощей и фруктов в шаговой доступности – технологии городского фермерства [2].

Многие исследователи, работающие в отрасли защищённого грунта, считают, что в будущем фермеры станут культивировать растения в подземных оранжереях и так называемых городских фермах. Качество растительной продукции может быть значительно лучше, если применять природные технологии – гумусопонику, когда питание растений осуществляется не из водных растворов минеральных химических веществ, а из раствора органических гуматов, переведённых в растворимую форму. Автоматизированные системы управления обеспечат контроль оптимальных условий для выращиваемого вида растений, что позволит повысить урожайность и качество органических продуктов питания.

Рассмотрим существующие технологии и системы культивирования растений в условиях искусственных сред и/или ограниченного пространства.

Гидропонная технология[1] имеет свои преимущества при получении растений в искусственной среде: упрощение многих этапов выращивания; возможность автоматизации процессов; регулирование параметров окружающей среды и др. [3]. Малообъёмная гидропоника подходит для производства культур в ограниченном пространстве и сложных внешних условиях.

Беспочвенные методы считаются результатом развития современных агротехнических тенденций. Однако стоит вспомнить одно из семи чудес света – Висячие сады Семирамиды. На основании немногочисленных свидетельств можно заключить, что для создания удивительного сооружения, покрытого зеленью, применялись примитивные гидропонные системы активного типа, в качестве почвенного субстрата использовалась смесь земли и камней. Описание питательного раствора, к сожалению, не сохранилось.

Следует обратить внимание, что для участия в сложном круговороте элементов полезные питательные вещества в растениях не появляются из ниоткуда, они должны быть включены в почву или питательную среду [4].

Гумусопонная технология[2] предполагает органоминеральную питательную среду, содержащую органические составляющие на основе солей гуминовых кислот, широкий перечень макро-, микро- и ультрамикроэлементов, а также ассоциации тысяч видов агрономически ценных почвенных аэробных и анаэробных микроорганизмов, имеющихся в биосфере планеты.

Эликсир плодородия uTerra, который рекомендуется использовать в качестве питательной среды, включает в себя целый спектр органических компонентов (гуминовые вещества, фульвовые, органические и аминокислоты, грибные элиситоры, почвенные аэробные и анаэробные микроорганизмы и др.), макроэлементы (N, P, K, S, Ca, Mg), микроэлементы (Si, Cu, I, Zn, Mn, B, Mo, Co, V, Na, Al) и ультрамикроэлементы (Ba, Br, Ge, Li, Ni, Cr, F, Se, Ag) [4].

[1] Способ выращивания культур в искусственной среде без почвы. Растения получают полезные вещества из питательного раствора, окружающего корни.

[2] Способ культивирования растений, который предполагает применение питательной среды, содержащей органические составляющие на основе солей гуминовых кислот и широкий перечень макро-, микро- и ультрамикроэлементов. Гумусопоника является комбинированным методом выращивания, который объединяет гидропонный и классический приёмы растениеводства с подбором составов грунтов и питательных растворов таким образом, чтобы обеспечить растения необходимым комплексом органоминеральных питательных веществ на всех этапах развития.

Богатый органоминеральный состав эликсира плодородия uTerra содействует получению культур, отличающихся не только хорошими вкусовыми качествами, но и полезными свойствами, так как данная подкормка способна обогатить растения более чем 80 химическими элементами в виде огромного разнообразия органических соединений [5].

Целью данного исследования является разработка технологий, процессов и оборудования для производства культур в условиях искусственной среды с применением гумусопоники, что требует тонкого управления различными технологическими факторами, влияющими на развитие растений. Автоматизированная система управления должна быть достаточно гибкой для обеспечения диапазона регулировок в зависимости от вида культуры и её периода вегетации.

Требования к искусственной среде, предназначенной для культивирования растений

Организация благоприятных условий для растений в системах с искусственной средой – важная задача, которая требует комплексного подхода при создании оборудования, обеспечивающего оптимальные технологические режимы. Кроме того, стоит отметить, что первостепенным является вопрос о составе питательной среды, используемой для развития растений. Для получения идеальных условий необходимо поддерживать в соответствующих диапазонах следующие технологические факторы, которые зависят от вида растения и его вегетационного периода:

- уровень освещения, фотопериодизм;
- спектр освещения на разных этапах развития растения;
- режимы и способы питания растений;
- температурный и влажностный режимы;
- состав газовой среды;
- состав питательной среды, постоянное его поддержание.

Освещение

Растения нуждаются в энергии для роста, цветения, созревания плодов и размножения. В естественных условиях её источником является солнечный свет. Для получения необходимого уровня искусственного освещения целесообразно использовать фитолампы с различной длиной волны в диапазоне 400–700 нм, обеспечивающие световой поток не менее 120 мкмоль/(м^2·с). Лампы должны давать равномерный поток на всю площадь выращивания и располагаться на высоте до 40 см от растения [6]. Оптимальный вариант – возможность регулировать данное расстояние по мере роста культуры.

Для реакции фотосинтеза наиболее эффективны синяя и красная части спектра (рисунок 1), поэтому фитолампы должны содержать комбинацию синих (440–460 нм) и красных (650–670 нм) осветительных элементов.

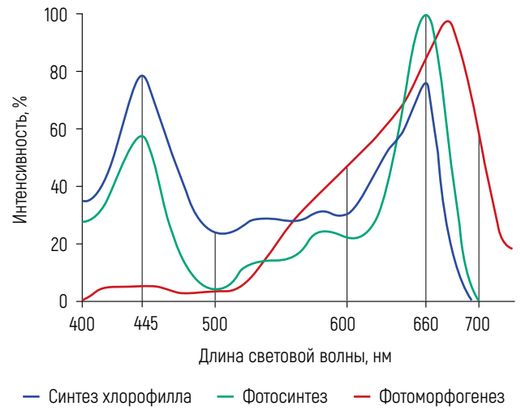


Рисунок 1 – Зависимость интенсивности фотосинтеза и других процессов от длины световой волны

При использовании источников белого света следует обращать внимание на цветовую температуру (рисунок 2).

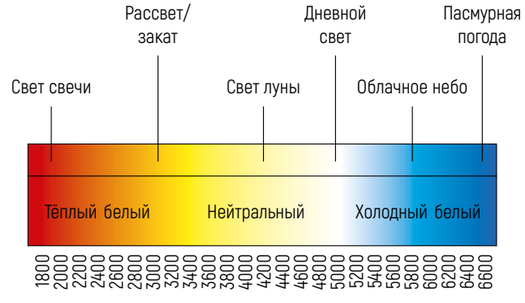


Рисунок 2 – Шкала измерения условной цветовой температуры

В таблице 1 показана реакция растений на различный диапазон цветовой температуры и, соответственно, видимый цвет [6].

Таблица 1 – Воздействие источников белого света на растения в зависимости от цветовой температуры

Цветовая температура, K	Видимый цвет	Воздействие на растения
1500–3000	Тёмно-оранжевый или тёмно-красный	Стимулирует цветение
3000–3700	Жёлтый или нейтральный	Усиливает фотосинтез на протяжении всей фазы роста
4000	Нейтрально белый	Обеспечивает нормальный рост
4000–5000	Светло-голубой	Ускоряет рост листьев и стебля
5000–8000	Тёмно-синий	Улучшает развитие листьев

Существуют три основных типа источников искусственного освещения для растений: флуоресцентные, газоразрядные (HID) и светодиодные (LED) лампы. На сегодняшний день оптимальным вариантом считается применение светодиодных светильников, отличающихся низким энергопотреблением, высокой светоотдачей, большой долговечностью и компактными размерами. Кроме того, они легко программируются, что позволяет задавать режимы освещения, необходимые на каждом этапе развития растения.

Важной характеристикой для роста и развития культур является фотопериодизм[3]. Растения умеют приспосабливаться к чередованию и изменению длительности дня и ночи, перестраивая процессы развития на фоне колебаний продолжительности дня и обеспечивая адаптацию стадий роста к сезонным особенностям климата. Долгота светового дня воспринимается растениями как фактор среды, стимулирующий их к началу цветения или к наступлению неблагоприятного сезона. Фотопериодизм зависит от стадии развития и может составлять от 12 ч освещения в сутки в фазе цветения до 18 ч в фазе роста [7].

[3] Реакция организма на суточный ритм освещения: на соотношение светлого (длина дня) и тёмного (длина ночи) периодов суток; выражается в изменении процессов роста и развития.

Система питания

Выращивание культур в условиях искусственной среды требует доступа к питательному раствору в достаточном объёме в нужное время. Ниже рассмотрены возможные варианты обеспечения питания растений [8, 9].

Фитильная система (рисунок 3). В горшок с субстратом помещается фитиль, второй конец которого опускается в питательный раствор. Фитиль, скрученный из синтетических или натуральных волокон, имеет множество капиллярных каналов, по которым питательный раствор поднимается к растению. В качестве субстрата используют перлит, вермикулит, кокосовое волокно, минеральную вату и др. Данный метод не подходит для влаголюбивых культур, так как они не способны получать необходимое количество питания с помощью фитиля, а значит, могут погибнуть.

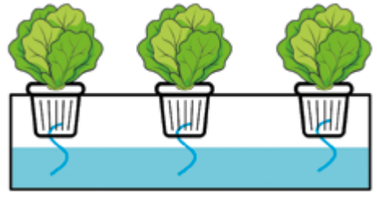


Рисунок 3 – Система питания с использованием фитиля

Система периодического затопления (рисунок 4). Этот способ предусматривает определённую периодичность поступления питательного раствора к корневой зоне растений, содействуя её хорошему обогащению кислородом. Подъём воды вытесняет отработанный воздух из данной зоны, а понижение уровня воды обеспечивает проникновение нового свежего воздуха. Такая система легко автоматизируется и позволяет оптимально управлять питанием растений.

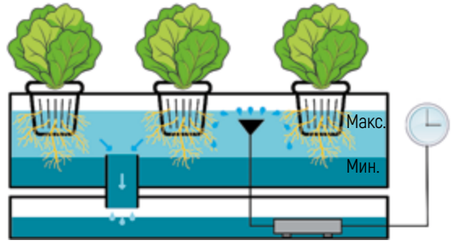


Рисунок 4 – Система периодического затопления

Система водной культуры (рисунок 5). Самая простая из всех гидропонных технологий: платформа, изготовленная из лёгкого материала и поддерживающая растения, плавает на поверхности питательного раствора. Воздушный насос насыщает раствор кислородом, который зелёные насаждения получают с помощью корней. Аэрация корневой зоны значительно улучшает поглощение воды и питательных веществ. Если исключить данный процесс, растение быстро погибнет.

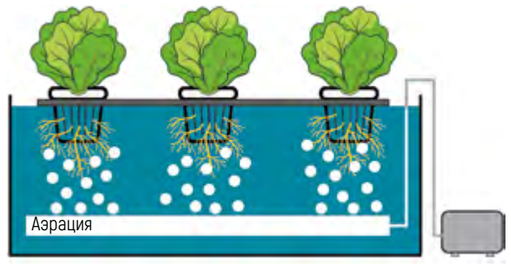


Рисунок 5 – Система водной культуры

Система питательного слоя (рисунок 6). Питательные вещества подаются с помощью насоса и проходят по корням. Поток раствора может быть постоянным или периодическим – в зависимости от вида культивируемого растения. Однако следует контролировать этот процесс: если произойдёт длительный сбой в работе системы, то культуры могут погибнуть. При данной гидропонной технике растение, как правило, находится в ёмкости без субстрата, что при определённых условиях также является недостатком, поскольку для побегов отсутствует опора. Например, в случае разведения растений, имеющих тяжёлую верхушку, понадобится поддерживающее приспособление, в качестве которого может выступать мелкоячеистая сетка.

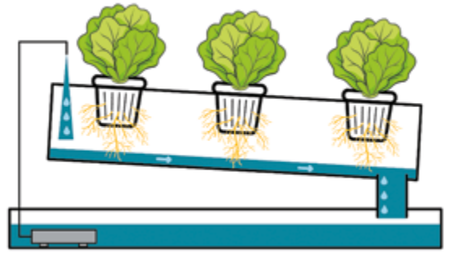


Рисунок 6 – Система питательного слоя

Система капельного орошения (рисунок 7). Предполагается отдельный полив каждого растения. Используются различные виды субстратов, однако в зависимости от них система может быть чувствительна к сбоям подачи питательного раствора. Важно обеспечить оптимальный цикл орошения, поскольку при избытке воды корни начинают загнивать по причине кислородного голодания, при недостатке – соли кристаллизуются и мешают корням впитывать питательный раствор.

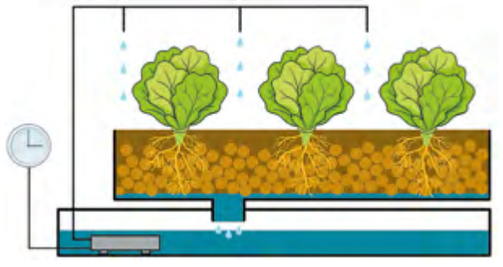


Рисунок 7 – Система капельного орошения

Система аэрогидропоники (рисунок 8). Базируется на оксигенации воды путём прохождения её через воздух. Насытить воду кислородом можно с помощью воздушных, водяных насосов или водоворотов.

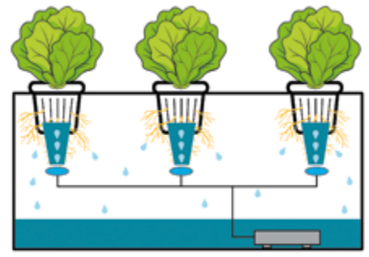


Рисунок 8 – Система аэрогидропоники

Система аэропоники (рисунок 9). Под действием ультразвуковой мембраны (частота колебаний до 2 МГц) питательный раствор превращается в туман (размер частиц до 5 мкм), в котором находятся корни растений, получающие таким образом питание.

Данную технологию применяют для повышения влажности в теплицах, поскольку на листьях не осаждается

вода, а значит, уменьшается риск заражения грибком или плесенью.

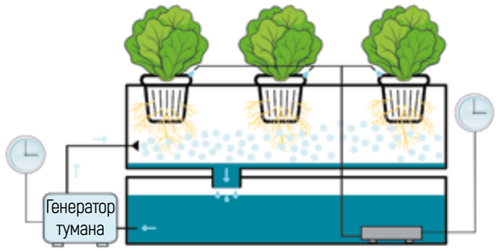


Рисунок 9 – Система аэропоники

Система аквапоники (рисунок 10). Сочетает в себе рыбоводство и растениеводство. Рыбы в процессе жизнедеятельности выделяют азот, калий, фосфор, аммиак, углекислый газ, которые перерабатываются бактериями и затем служат пищей для растений.

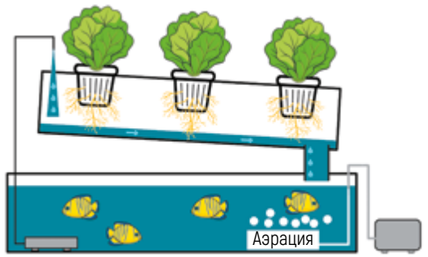


Рисунок 10 – Система аквапоники

При создании гумусопонных систем важной задачей является поиск технических и технологических решений, которые будут сочетать в себе все плюсы вышеперечисленных способов питания растений. При этом следует учитывать требования, предъявляемые к культивированию различных видов растений, а также тот факт, что заложенные конструктивные решения должны обеспечивать надёжность и простоту обслуживания гумусопонных систем.

Микроклимат

Влажность воздуха, как и температурный режим, – важный фактор для развития растений. Зная эти параметры, можно существенно улучшить внешний вид выращиваемых культур и обеспечить условия для их гармоничного цветения или плодоношения.

В природе выделяют несколько групп растений: гигрофиты (предпочитают влажность 70–90 %), ксерофиты (легко переносят засуху), мезофиты (предпочитают влажность 50–60 %). Большинство комнатных и тепличных культур относится к мезофитам.

Влажность воздуха влияет на процессы, протекающие в клетках растений. Сухой горячий воздух вредит развитию, нарушая функции дыхания и фотосинтеза. Недостаточная влажность приводит к пожелтению листьев, появлению на них пятен, опадению бутонов и цветков. От низкой влажности страдают в первую очередь молодые листья. Высокая влажность становится причиной возникновения гнили, плесени, грибковых заболеваний, размножения вредоносных микроорганизмов и насекомых.

К эффективным методам, позволяющим повысить влажность, относятся:

- орошение путём распыления воды;
- размещение открытых ёмкостей с водой;
- использование увлажнённого пористого материала, например торфа или мха;
- применение увлажнителя воздуха [10].

Хорошо налаженная система вентиляции и воздухообмена считается надёжным способом достижения необходимого уровня влажности.

Питательная среда

Наиболее значимый аспект в культивировании – подбор оптимальной питательной среды, которая даст возможность растениям получить все макро-, микро- и ультрамикроэлементы для комфортного роста и развития. Основными компонентами питательных сред могут быть минеральные соли (макро- и микроэлементы), источники углеводного питания (сахароза, меласса, патока), витамины и др. Иногда в состав питательных сред входят органические добавки (гидролизат казеина, кокосовое молоко, дрожжевой экстракт, эндосперм кукурузы).

В классическом растениеводстве важно правильно подобрать состав грунта, добавляя в него биогумус, песок и другие компоненты (в зависимости от вида растения), чтобы обеспечить необходимые показатели кислотности, электропроводности, а также наличие питательных веществ. Однако в условиях искусственной среды традиционные способы культивирования невозможны или сложно осуществимы. В связи с этим гумусопонику следует рассматривать как метод комбинированного выращивания, который объединяет в себе гидропонную и классическую технологии.

Ещё одна составляющая плодородия – активность почвенных микроорганизмов, которые являются продуцентами витаминов, ферментов, белков и многих органических веществ, нужных растениям на всех стадиях развития. В природных условиях наличие земляных червей в почве значительно повышает активность полезных почвенных микроорганизмов. Заселение в грунт специально выведенного земляного червя вида *Lumbricus* uTerris позволяет внести в почву ассоциации агрономически ценных микроорганизмов.

Кроме этого, червь рыхлит землю, что считается действенным способом обогащения корневой системы кислородом. По ходам червей растения пускают корни и находят для себя дополнительную пищу – выделения червей, т. е. копролиты, которые содержат в своём составе органические соединения (в том числе гуминовые вещества) в легкоусвояемой форме. Таким образом создаётся определённый симбиоз между растениями, земляными червями и полезными микроорганизмами.

Обратим внимание на один из продуктов, имеющихся на рынке, – эликсир плодородия uTerra, который:

- повышает урожайность и качество сельскохозяйственной продукции, ускоряет развитие растений за счёт более эффективного снабжения необходимыми питательными веществами и натуральными фитогормонами;
- защищает растения от болезней и вредителей;
- снижает в растениях концентрацию тяжёлых металлов и радионуклидов за счёт их связывания в почве;
- уменьшает в растительной продукции содержание нитратов;
- регулирует и нормализует pH почвы.

Эликсир плодородия uTerra получают в специальном биореакторе, применяя качественное природное сырьё: бурый уголь, рассыпчатый биогумус uTerra, содержащий макро-, микро- и ультрамикроэлементы. Кроме того, в состав эликсира входят тщательно подобранные агрономически ценные ассоциации аэробных и анаэробных микроорганизмов (порядка 10 трлн шт/кг), для роста которых используется сбалансированное питание: меласса, мёд и продукты пчеловодства, гуматы из бурого угля, а также определённые макро-, микро- и ультрамикроэлементные органоминеральные добавки.

Технологические факторы

Для эффективного функционирования гумусопонных систем требуется обеспечивать в оптимальном диапазоне следующие технологические факторы:

- уровень кислорода у корневой системы. Данное условие позволяет растениям успешно усваивать полезные вещества из субстрата и питательного раствора, а также предотвращает загнивание и отмирание корней;
- уровень pH. Каждому растению для комфортного роста и развития необходим определённый параметр кислотности. Неправильно установленный уровень pH может повлиять на доступность и усвоение питательных веществ;
- уровень электропроводности. При низком значении этого показателя растения не получают достаточного количества питательных веществ (симптомы: изменение окраски листьев (жёлтая или коричневая), появление коричневых некротических пятен или дыр на листьях, задержка роста и др.). Для обеспечения нормального развития на всех этапах вегетационного периода нужно поддерживать соответствующий уровень электропроводности: 0,2–2,6 мСм/см.

Технические решения

Для эффективного производства растительной продукции, обладающей набором полезных макро-, микро- и ультрамикроэлементов, и достижения пищевого разнообразия в замкнутых искусственных системах, в том числе размещённых в космическом пространстве, а также в условиях современного техногенеза необходимо создать уникальное оборудование, которое будет учитывать все факторы, наиболее полно влияющие на развитие растений. Упор на комплексный подход и обеспечение возможности контроля и регулирования этих параметров позволит в ограниченном пространстве получать натуральный, экологически чистый, полезный и разнообразный урожай в короткие сроки, что улучшит рацион здорового питания человека.

При конструировании оборудования важно понимать цель его использования в условиях искусственной среды. Объекты разработки следует разделить на несколько групп:

- объект для сити-фермерства, который предназначен для выращивания различных агрокультур и задействует гумусопонные системы; подойдёт для коммерческих целей;

• объект для лабораторных исследований, на котором можно проводить эксперименты, предполагающие различные технологические параметры. Полученные результаты помогут комплексно подходить к внедрению ряда рациональных решений при создании инновационного оборудования;

• объект для индивидуального использования, который позволит организовать в домашних условиях личную сити-ферму, где можно выращивать различные культуры для употребления в пищу без значительных временных и трудовых затрат;

• объект декоративного назначения, основная цель которого – украшение интерьера.

Гумусопонный стенд

Разработан для проведения лабораторных исследований; позволяет широко охватить в экспериментальном поле различные способы и методы классического растениеводства, а также комбинированные приёмы выращивания с помощью гумусопоники (рисунок 11). Посредством данного оборудования можно определить оптимальные технические решения и параметры, необходимые для производства растительной продукции в промышленных масштабах.

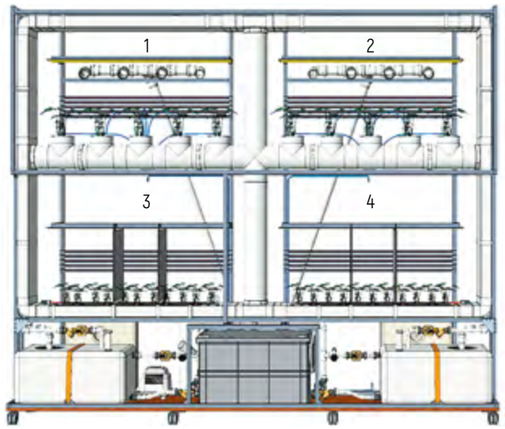


Рисунок 11 – 3D-модель гумусопонного стенда:
1, 2, 3, 4 – зоны для исследования различных методик выращивания; верхний, средний уровни – для постановки экспериментов, нижний – для размещения технологического оборудования

На основании анализа теоретических данных, полученных в ходе изучения современных систем и методов культивирования растений, принято решение разделить гумусопонный стенд на три уровня и четыре зоны (рисунок 11), в каждой из которых можно проводить самостоятельные исследования, в то время как верхние зоны 1, 2 и средние зоны 3, 4 имеют одинаковый функционал. Такая модель стенда позволит ставить сравнительные эксперименты, применяя разные методики. Верхний и средний уровни предназначены непосредственно для экспериментов, нижний – для размещения технологического оборудования: ёмкостей, насосов и др.

Стенд полностью автоматизирован: ведётся контроль за экспериментами, данные о состоянии системы можно отслеживать и корректировать с помощью мобильного приложения. Левый (зоны 1, 3) и правый (зоны 2, 4) контуры полностью идентичны, что позволяет проводить параллельные эксперименты при равных условиях. На нижнем уровне системы установлены ёмкости с питательными растворами (для каждого контура – своя) и ёмкости для воды, которые обеспечивают капельный полив растений, расположенных на верхнем уровне (зоны 1, 2). В среднем резервуаре находятся вода и ультразвуковой генератор тумана. Образующийся туман по трубе поднимается и распыляется на верхний уровень установки в зоны 1, 2. В системе орошения туманом задаются и регулируются следующие параметры: периодичность и продолжительность обработки, а также интенсивность потока. Все ёмкости оборудованы датчиками уровня для контроля и своевременного пополнения системы питательным раствором/водой. Кроме того, на нижнем уровне имеется датчик утечек, предназначенный для предотвращения протеканий.

В зонах 1, 2 возможно применение капельного полива и метода периодического затопления. Верхний уровень оснащён датчиками перелива для дополнительного контроля уровня питательного раствора в системе.

В зонах 3, 4 осуществляется выращивание культур методом питательного слоя. Раствор, содержащий необходимые элементы для развития растений, постоянно циркулирует по установке и аэрируется для дополнительного обогащения кислородом корневой системы, что улучшает поглощение воды и питательных веществ, а также позволяет избежать загнивания корней.

Во всех четырёх экспериментальных зонах расположены две системы освещения: верхнее и боковое. Верхнее освещение состоит из наборов светодиодных лент белого света различной температуры свечения и фитолент красного и синего цвета (имеется возможность регулировки по высоте). Боковое освещение – из ряда горизонтально расположенных светодиодных лент (имеется возможность изменения спектра освещения). Расстояние между светодиодными лентами и спектральный состав света бокового освещения регулируются в зависимости от стадии развития и вида растений.

Для контроля за системой в режиме реального времени, а также на случай срабатывания сигнализации установлена видеокамера, данные с которой напрямую передаются в мобильное приложение.

Дополнительно на заднюю стенку стенда монтируется светоотражающая штора; на переднюю часть стенда – панель из прозрачного материала с наклеенной на неё зеркальной тонирующей плёнкой, что позволяет значительно повысить уровень освещённости в зонах проведения экспериментов.

На гумусопонном стенде (рисунок 12) возможно проведение экспериментов по оценке и сравнению воздействия на растения различных технологических факторов:

• уровень освещённости, спектральный состав света и фотопериодизм;

• состав питательной среды и субстрата;

• система питания;

• иное (орошение туманом, подача углекислого газа, аэрация питательной среды и др.).



Рисунок 12 – Гумусопонный стенд

Гумусопонная мини-ферма

Предназначена для индивидуального растениеводства; даёт возможность каждому человеку употреблять разнообразные свежие овощи, зеленные культуры, а также лекарственные растения, которые богаты микро- и макроэлементами и выращены в домашних условиях с минимальными затратами времени и усилий (рисунок 13). Мини-фермы подходят для различных помещений (квартира, дом, офис и др.).



Рисунок 13 – Гумусопонная мини-ферма

В мини-ферме предполагается только верхнее освещение, состоящее из наборов светодиодных лент белого света различной температуры свечения и фитолент красного и синего цвета. Для того чтобы повысить уровень освещённости, на заднюю стенку фермы монтируется светоотражающая штора; на переднюю часть фермы – легкосъёмная панель из прозрачного материала с наклеенной на неё зеркальной тонирующей плёнкой. Проведённые с помощью Sekonic C-800 эксперименты показали, что наличие таких панелей увеличивает освещённость на 53 %; они служат не только для снижения светового рассеивания, но и для поддержания определённого уровня влажности воздуха внутри установки.

Мини-ферма имеет минимальный уровень автоматизации. Питательный раствор аэрируется для дополнительного обогащения корней кислородом. Режимы освещения и аэрирования программируются и включаются с помощью таймера. Система также оснащена датчиками уровня питательного раствора, долив которого при необходимости производится через заливную горловину. Кроме того, для более полной оценки состояния системы проводится ручной контроль кислотности питательной среды (pH), температуры, влажности воздуха и электропроводности питательного раствора.

Важную роль для эффективного функционирования таких установок играют состав питательного раствора и субстрат, поскольку растение нужно максимально обеспечить всеми полезными питательными веществами. Применение эликсира плодородия uTerra способствует интенсивному развитию растений, а также нарастанию вегетативной массы.

Гумусопонный вазон

Предназначен для индивидуального использования в декоративных целях (рисунок 14). Представляет собой автоматизированную систему, состоящую из внутреннего и внешнего горшков. В первый высаживается растение, во втором находится питательная среда – однопроцентный раствор почвенного эликсира uTerra. Внешний горшок имеет светопрозрачные стенки и выполняет функцию аквариума, в котором можно содержать рыбок породы гуппи.

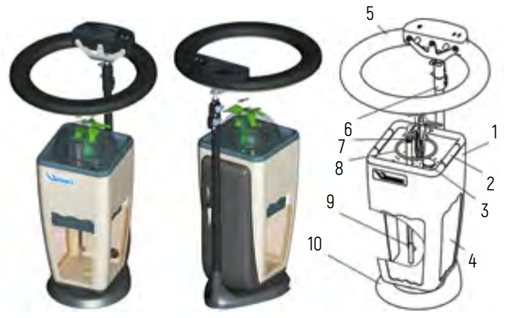


Рисунок 14 – Гумусопонный вазон:
1 – внешний горшок; 2 – внутренний горшок;
3 – заливная горловина; 4 – питательный раствор;
5 – осветитель; 6 – штатив осветителя;
7 – капельный полив; 8 – капиллярная трубка;
9 – трубка подключения капельного полива
к компрессору; 10 – подставка со штативом

Вазон оснащён подставкой со штативом, на котором крепится фитолампа для дополнительного освещения растения на всех этапах его роста и развития. В установке используется несколько систем питания: капельный полив, аквапоника, водная культура и элемент аэрогидропоники. В раствор погружена трубка капельного полива, подключённая к пузырьковому насосу. Питательный раствор, обогащённый пузырьками воздуха, поднимается по трубке и орошает корни, при этом происходит аэрация растения. Управление орошением осуществляется автоматически согласно настраиваемой программе. Растение поглощает необходимое количество питательного раствора, излишки протекают через субстрат и возвращаются во внешний горшок.

В таблице 2 указан перечень требований по автоматизации и управлению, которым, по мнению разработчиков, данный объект должен соответствовать. Большинство основных технологических параметров контролируется автоматически и может задаваться, регулироваться, корректироваться и отображаться посредством разработанного мобильного приложения, что делает уход и контроль за развитием растения максимально простым и удобным для человека.

В гумусопонном вазоне предусмотрено подключение дополнительной ёмкости с питательным раствором (в случае длительного отсутствия пользователя). Кроме того, возможна установка отражающей панели вокруг растения для увеличения освещённости: предварительные эксперименты показали, что такое решение позволяет повысить световой поток на 50 % и более.

Питательный раствор – один из важнейших факторов, влияющих на эффективность выращивания культур гумусопонными методами. В качестве такой питательной среды в гумусопонном вазоне принято решение использовать водный раствор почвенного эликсира uTerra, так как он является источником гуминовых и фульвовых кислот, макро-, микро- и ультрамикроэлементов, а также агрономически ценных почвенных аэробных и анаэробных микроорганизмов, необходимых на всех стадиях жизненного цикла растений. Авторами исследована совместимость гуппи с водным раствором почвенного эликсира uTerra. Результаты эксперимента показали, что рыбы чувствуют себя в нём комфортно (концентрация 0,5–1,0 %). Кроме того, наблюдалось повышение электропроводности. Данное изменение указывает на увеличение показателя общего солесодержания за счёт попадания в раствор продуктов жизнедеятельности рыб, что также положительно влияет на развитие растений в гумусопонном вазоне.

Таблица 2 – Функциональные требования к гумусопонному вазону

Функция		Описание
Капельный полив		Капельная трубка и пузырьковый насос
Управление капельным поливом		Автоматическое/программируемое
Долив питательного раствора		Ручной (через заливную горловину) / автоматический
Контроль уровня питательного раствора		Автоматический
Управление освещением растения		Автоматическое/программируемое
Управление освещением аквариума		Автоматическое/программируемое
Устройство подачи лёгких сыпучих продуктов в питательный раствор (корм для рыбок)		Автокормушка
Цикл работы системы автоматического управления		Недельный
Запись истории работы системы автоматического управления		Ведение логов
Контролируемые технологические показатели	pH субстрата	Ручной
	Влажность субстрата	Автоматически
	Температура субстрата	Автоматически
	pH питательного раствора	Вручную периодически (во внешней ёмкости)
	Температура питательного раствора	Автоматически
	Электропроводность питательного раствора (солесодержание)	Автоматически
Сигнальные устройства	Звуковая сигнализация	Зуммер
	Световая сигнализация подачи питания на стойке	LED/ЖК-индикатор
	Световая сигнализация подачи питания на вазоне	LED/ЖК-индикатор
	Сигнализация уровня питательного раствора	LED/ЖК-индикатор (во время долива – прерывистый зуммер)
	Величины контролируемых технологических показателей	Отображаются посредством мобильного приложения
Время автономного функционирования объекта без участия человека		До 30 дней

Гумусопонная гряда

Предназначена для выращивания различных культур (цветы, овощи, микрозелень и др.), а также их саженцев в домашних, полевых, тепличных, огородных и иных условиях; не имеет системы автоматизации (рисунок 15). Представляет собой универсальное устройство, так как способствует созданию максимально комфортной среды для растений за счёт подбора наилучших параметров выращивания. В качестве субстрата используется определённое соотношение грунта, торфа и рассыпчатого биогумуса с добавлением земляного червя *Lumbricus* uTerris. В гумусопонной гряде применяется система питательного слоя или фитильная система. Питательная жидкость – водный раствор эликсира плодородия uTerra в концентрациях, подобранных индивидуально с учётом вида растения, объёма горшка/кадки.



Рисунок 15 – Гумусопонная гряда (вариант)

Сочетание таких благоприятных факторов позволяет получить растения, обладающие полным спектром полезных макро-, микро- и ультрамикроэлементов вне зависимости от окружающей среды, что удобно в условиях замкнутых искусственных систем, а также в ограниченном пространстве.

Основные направления в изучении и развитии гумусопонных гряд – подбор экологичного материала для создания горшков/кадок; поиск технологических решений, реализация которых позволит сделать данное устройство многофункциональным объектом и объединить экологичность, экономичность, эффективность выращивания культур, обладающих всем необходимым спектром макро-, микро- и ультрамикроэлементов.

Заключение

Разработка новых систем выращивания культур в ограниченном объёме искусственной среды является важной задачей, поскольку позволит обеспечить человека здоровым питанием при неблагоприятных внешних факторах: освоении космоса, Арктики, Антарктики, Заполярья, а также при построении подводных городов. Не менее актуальный вопрос – организация пищевого разнообразия в условиях современного техногенеза.

В статье представлена уникальная линейка гумусопонного оборудования, благодаря которому можно производить широкий ассортимент растительной продукции для различных групп потребителей – от домашних хозяйств до крупных промышленных предприятий. Дальнейшая апробация рассматриваемой технологии будет способствовать активному использованию систем гумусопонного выращивания, а также их усовершенствованию. Заложенные решения, требования и критерии, которым объекты должны соответствовать, позволят достичь высокого уровня автоматизации создаваемого оборудования, что значительно снизит временные и трудовые затраты на его обслуживание, а также повысит урожайность и качество растительной продукции.

Список основных источников

1. *Юницкий, А.Э. Особая роль пищи как строительного материала для организма человека в условиях замкнутой биосферы ограниченных размеров / А.Э. Юницкий, Н.С. Зыль, Е.А. Шахно // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 12 сент. 2020 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – С. 376–387.*
2. *Деведёркин, И.В. Методические рекомендации по созданию гидропонных установок в качестве конструкторов для развития компетенций сити-фермерства / И.В. Деведёркин, И.С. Чуксин. – Ставрополь: Седьмое небо, 2020. – 33 с.*
3. *Карпухин, М.Ю. Автоматизированные гидропонные системы для сити-фермерства [Электронный ресурс] / М.Ю. Карпухин // Аграрное образование и наука. – 2022. – N° 1. – Режим доступа: https://aes.urgau.ru/images/ 2022/01_2022/2_01_2022.pdf. – Дата доступа: 24.05.2024.*
4. *uTerra™ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://uterra.by/. – Дата доступа: 13.06.2024.*
5. *Юницкий, А.Э. Инженерия. Мир как инженерный проект / Анатолий Юницкий. – Минск: СтройМедиаПроект, 2023. – 320 с.*
6. *Освещение растений, разбор спектров Kelvin (K) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://siberian-grower.ru/osveshhenie-dlya-rasteniy-razbor-spektrov-kelvin-k/. – Дата доступа: 24.05.2024.*
7. *Зубкова, Е.Н. Физиология фотопериодической чувствительности у растительных организмов при различной продолжительности светового периода / Е.Н. Зубкова, Т.А. Белова // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2017. – Т. 25, N° 1. – С. 50–57.*
8. *Тексье, У. Гидропоника для всех. Всё о садоводстве на дому / У. Тексье; пер. с англ. А. Оганян. – Париж: Mama Editions, 2013. – 296 с.*
9. *Zankat, S.B. Hydroponics: Revolutionizing Agriculture for a Sustainable Future / S.B. Zankat, D.M. Jadav, H.S. Hathi // Vigyan Varta. – 2024. – Vol. 5, iss. 2. – P. 165–169.*
10. *Влажность воздуха для растений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://agrodom.com/advice/vlazhnost-vozdukha-dlya-rasteniy/. – Дата доступа: 24.05.2024.*



УДК 504.062+629.786.2

Биотехнологическая переработка бытовых отходов в ЭкоКосмоДоме

А.Э. Юницкий[1,2]
доктор философии транспорта

Н.С. Зыль[2]

И.В. Налетов[2]

В.С. Заяц[2]

А.М. Павлюченко[2]

Т.И. Пятакова[2]

П.А. Буглак[2]

[1] ООО «Астроинженерные технологии»,
г. Минск, Беларусь

[2] ЗАО «Струнные технологии»,
г. Минск, Беларусь

При проектировании биосферы ЭкоКосмоДома (ЭКД), представляющего собой сбалансированную и устойчивую экосистему, неизбежно возникнет необходимость решать вопрос полного рециклинга образующихся бытовых отходов, в том числе твёрдых (ТБО), которые производят его жители. Биотехнологические методы видятся наиболее перспективными, поскольку позволят наряду с переработкой вовлечь ТБО в круговорот веществ в ЭКД при изготовлении растительной продукции.

В статье раскрыта тема комплексного использования и утилизации ТБО; определены основные процессы – подготовка отходов (отделение металлов, измельчение) и переработка при помощи живых организмов (черви, бактерии, микрогрибы, водоросли).

Традиционные методы утилизации ТБО, такие как захоронение на свалках или сжигание, приводят к загрязнению окружающей среды. Ежегодно в мире образуется значительное количество отходов – 2,1 млрд тонн. От 30 до 40 % из них не утилизируются экологически безопасно, наносят природе огромный урон, чего нельзя допускать при создании замкнутых экосистем.

Описываемые решения ввиду простоты и характеристик образующихся продуктов применимы в замкнутых экосистемах, в том числе при реализации космических и земных составляющих программы «ЭкоМир» (линейные города, ЭКД, другие транспортно-инфраструктурные и индустриально-жилые компоненты), а также для переработки отходов производства и потребления, захороненных на полигонах.

Ключевые слова:
биодеградация, переработка отходов, твёрдые бытовые отходы (ТБО), целлюлозолитические микроорганизмы, ЭкоКосмоДом (ЭКД).

UDC 504.062+629.786.2

Biotechnological Recycling of Domestic Waste in EcoCosmoHouse

A. Unitsky[1,2]
Dr. of Philosophy
in Information Technologies
(Transport)

N. Zyl[2]

I. Naletov[2]

V. Zayats[2]

A. Pauliuchenka[2]

T. Pyatakova[2]

P. Buglak[2]

[1] Astroengineering Technologies LLC,
Minsk, Belarus

[2] Unitsky String Technologies Inc.,
Minsk, Belarus

In the design of the EcoCosmoHouse (ECH), which is a balanced and sustainable ecosystem, the necessity of addressing the complete recycling of domestic waste, including solid household waste (SHW), generated by its inhabitants, becomes inevitable. Biotechnological methods emerge as the most promising solution, enabling not only waste processing but also integrating SHW into the material cycle of the ECH during the manufacturing of plant products.

This discussion highlights the comprehensive utilization and disposal of SHW, defining key stages such as waste preparation (metal separation, shredding) and processing through the involvement of living organisms (earthworms, bacteria, fungi, algae).

Traditional waste disposal methods, such as landfill burial or incineration, contribute significantly to environmental pollution. Globally, a substantial volume of waste – approximately 2.1 bln tons – is generated annually, with 30 to 40 % of this not being disposed in an environmentally safe manner, causing immense harm to nature. Such practices must be avoided in the creation of enclosed ecosystems.

The proposed solutions, due to their simplicity and the characteristics of the resulting products, are applicable in enclosed ecosystems, in particular during the implementation of the terrestrial and cosmic components of the EcoSpace program (linear cities, ECHs and other transport, infrastructure and industrial-residential components) and the processing production and consumer waste buried in landfills.

Keywords:
biodegradation, cellulolytic microorganisms, EcoCosmoHouse (ECH), solid household waste (SHW), waste recycling.

Введение

Накопление отходов является глобальной экологической проблемой. Объём твёрдых бытовых отходов (ТБО) постоянно изменяется, отражая состояние снабжения товарами, и в значительной мере зависит от местных условий инфраструктуры. В среднем у города с населением около 1 млн жителей количество ТБО находится на уровне 3 млн м^3 (600 000 тонн). Из них около 30 % – это отходы бумаги и картона, а также продуктов питания, 1–5 % – отходы древесины, пластмассы и чёрных металлов, около 3 % – текстиль, кожа, цветные металлы, кости, резина, камни, штукатурка; остальные виды отходов нецелесообразно классифицировать из-за их небольшого количества [1, 2].

Одна из самых серьёзных проблем при обращении с отходами – потеря ценных и качественных продуктов питания (рисунок 1). Более трети произведённого продовольствия никогда не съедается, ежегодные потери пищи составляют около 160 кг на каждого жителя Земли [3]. Этого количества достаточно, чтобы дважды искоренить голод на планете.

Продолжительное существование ЭкоКосмоДома (ЭКД) в виде сбалансированной и устойчивой экосистемы является инженерным вызовом, так как ранее задача создания биосферного пространства подобного масштаба не решалась успешно. В ходе своей жизнедеятельности люди будут оставлять внутри данного комплекса значительное количество отходов, которые могут включать в себя различные типы материалов – от пищевых отходов и упаковки до отработанных ресурсов и прочих остатков. В связи с этим следует придерживаться максимально эффективной методики утилизации, чтобы поддерживать равновесие и долгосрочную устойчивость системы при полном рециклинге. Кроме того, важно учитывать принципы экологической стабильности и минимизации негативного воздействия на внутреннюю среду ЭКД.

На космических станциях невозможно применение исключительно современных технологий утилизации отходов. Постепенно внутри ЭКД будут накапливаться существенные объёмы органических и неорганических отходов: растительные остатки, человеческие и животные фекалии, отмершие организмы, листья, очистки, плоды, кости, перья и др.

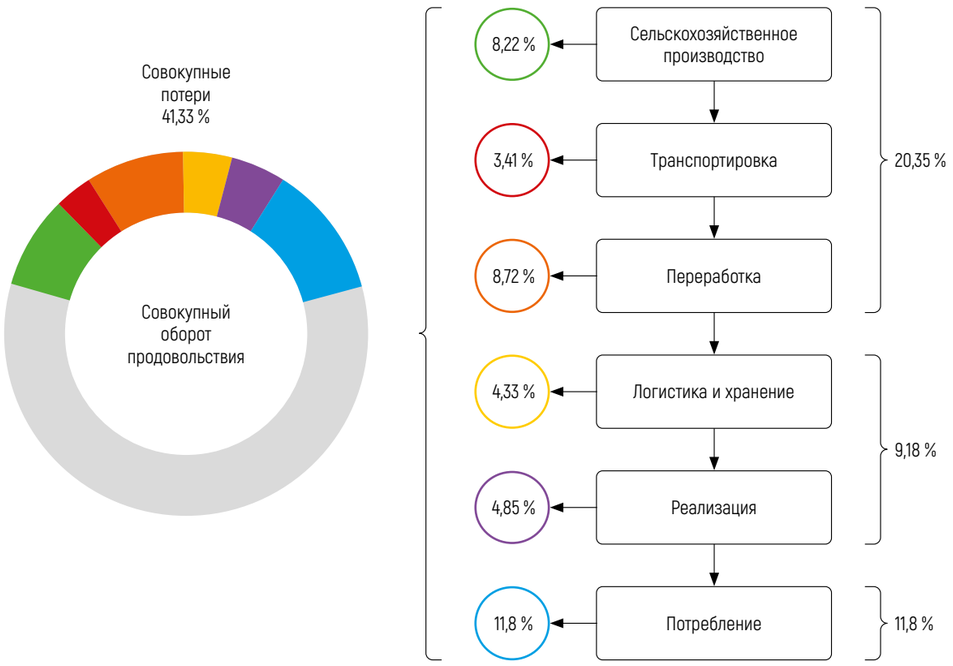


Рисунок 1 – Потери ценных продуктов питания

Это приведёт к формированию слоя органического материала, который подвергнется ферментации. Во время данного процесса произойдёт разложение органических веществ под влиянием микроорганизмов и ферментов, что вызовет выделение аммиака, метана и других химических соединений.

Постоянное складирование отходов жизнедеятельности на территории ЭКД обусловит накопление таких веществ и увеличение скорости ферментации и разложения, а значит, послужит причиной концентрирования в почве различных элементов: азота, фосфора, калия и др. Некоторые участки могут стать более плодородными, а другие, из которых будут иммигрировать элементы, – менее плодородными, тем самым нарушится баланс всей экосистемы. Если объём отходов превысит естественную способность среды к их разложению и утилизации, вероятны и другие проблемы: загрязнение почвы и водных ресурсов, образование вредных газов и неприятных запахов, а также создание условий для размножения патогенов.

Следовательно, необходимо принимать меры по управлению отходами жизнедеятельности, включая их утилизацию, переработку или использование в качестве ресурсов для других процессов, что позволит снизить негативное влияние накопления отходов и поддерживать баланс в замкнутой экосистеме. В ЭКД, как и в живой земной природе, отходов в привычном понимании нет, они представляют собой вторичное сырьё или побочный продукт.

В связи с вышесказанным целью работы является создание технологии биоутилизации отходов в ЭКД, которую можно применять для ТБО, образующихся в ходе жизни и хозяйственной деятельности человечества и захороненных в огромных количествах на полигонах, разбросанных практически по всей Земле.

Особенности обращения с отходами в ЭКД

Главным источником образования отходов в ЭКД станет хозяйственная активность человека. Ежедневно люди будут производить значительный объём органических отходов, таких как остатки пищи или продукты жизнедеятельности. Помимо этого, неизбежно генерируется большое количество других органических и неорганических веществ, включая пластик, металл, стекло, бумагу.

Вынос производства за пределы жилых модулей – одно из решений, которое позволит обеспечить положительный эффект от космических станций, построенных в логике программы «ЭкоМир». Промышленный мусор и отходы, образующиеся в космическом индустриальном ожерелье «Орбита» (КИО «Орбита»), не должны загрязнять ни Землю, ни жилые модули ЭКД. Себестоимость продукции можно существенно снизить за счёт использования особых технологических условий космоса (невесомость, вакуум, технологическая чистота), а также отсутствия необходимости выполнять глубокую переработку отходов, поскольку будет исключено их негативное влияние на земную биосферу.

В ЭКД планируется исключить неперерабатываемые отходы, что уже рассматривалось в исследованиях, посвящённых организации его биотехнологической составляющей [4]. Коэффициент образования отходов может быть принят в размере 25 % от такового на планете Земля. Это обусловлено рядом причин:

- упрощение логистики (уменьшение длины маршрутов и времени в пути) внутри ЭКД и комплекса КИО «Орбита» пропорционально уменьшит количество отходов;
- применение экоупаковки и возможность хранения продуктов в вакууме при криогенных температурах (например, за бортом ЭКД в его тени) позволят дольше сохранять продукты питания и используемое сырьё без ухудшения их качества и пищевой ценности;
- планирование производства продовольствия в замкнутой экосистеме будет более простой задачей, чем в трудно прогнозируемых рыночных условиях на Земле.

Такой подход поможет снизить образование отходов в 3–5 раз, ведь до 40 % продуктов питания не доходит до конечного потребителя на планете в результате потерь при транспортировке, неправильном хранении и перепроизводстве.

Кроме того, часть загрязнений, связанных с применением пластика, также может быть исключена в ЭКД.

Для того чтобы снизить отрицательное воздействие отходов на окружающую среду, необходимо создавать и внедрять эффективные системы управления ими: отделение некомпостируемых материалов и их переработку для повторного использования; проведение биотехнологической утилизации органических отходов через компостирование.

Промышленные и производственные отходы, в том числе обусловленные изготовлением, упаковкой и хранением продуктов питания, не должны загрязнять экосистему ЭКД. В процессе производства требуется исключить как вредные и опасные газы и жидкости, которые имеют негативное влияние на замкнутую среду, так и выбросы, которые могут содержать токсичные вещества, тяжёлые металлы, опасные химические соединения и другие загрязнители и попадать в атмосферу и водные системы.

В воздух не должны попадать сероводород (H_2S), диоксид серы (SO_2), оксиды азота (NO_x) и подобные вещества. На Земле данные выбросы вызывают изменение климата, образование смога и ухудшение качества воздуха, воды и почвы, что неблагоприятно сказывается на здоровье людей и биосферы в целом.

Обычно ТБО на свалках представляют собой опасную систему из различных по массе и плотности компонентов. Такая система со временем подвергается интенсивному биохимическому разложению, генерирующему сточные воды и свалочный биогаз (его основной компонент – метан) и повышающему температуру системы, что в свою очередь активизирует процессы химического окисления и ведёт к дальнейшему росту внутренней температуры и возгораниям. При этом горение может происходить как на поверхности, так и в толще отходов (рисунок 2).

В отличие от стандартных практик складирования на полигонах, в условиях ЭКД отходы следует включать в естественные циклы преобразования энергии путём биопереработки ТБО в источник питания растений. В результате достигается максимальная степень замкнутости круговорота ценных микроэлементов и сокращаются выбросы метана, что делает технологию пригодной в том числе для восстановления естественного состояния земной биосферы.

Загрязнение воды неорганическими и органическими веществами также представляет опасность для замкнутой среды. Оно происходит в основном из-за стоков канализации и смывов плодородного слоя в прибрежной зоне. При этом главной проблемой может стать наличие гормонов в сточной воде. Концентрация стероидов и гормонов здесь составляет 0,1–196 нг/л эстрогенов, 0,1–439 нг/л прогестерона, 0,06–(86 ± 2) нг/л андрогенов, 0,1–433 нг/л глюкокортикоидов и 26,6–100 нг/л гормонов роста [5]. Стероидные гормоны являются микрозагрязнителями воды по всему миру и несут серьёзную угрозу для окружающей среды и здоровья человека, даже в низких концентрациях. Несмотря на то что стероиды (эстрогены, прогестерон и андрогены) важны для развития организма и поддержания гомеостаза, они выступают одними из самых распространённых эндокринных разрушителей. Основные источники стероидных гормонов в окружающей среде – выделения человека и домашнего скота, сельскохозяйственные стоки, ветеринарные и фармацевтические препараты [6].

Объём образующихся ТБО напрямую зависит от уровня жизни и потребительской способности конкретного региона, причём ключевым фактором здесь будет экологический. При рациональном использовании ресурсов состав отходов прогнозируется с учётом их переработки.

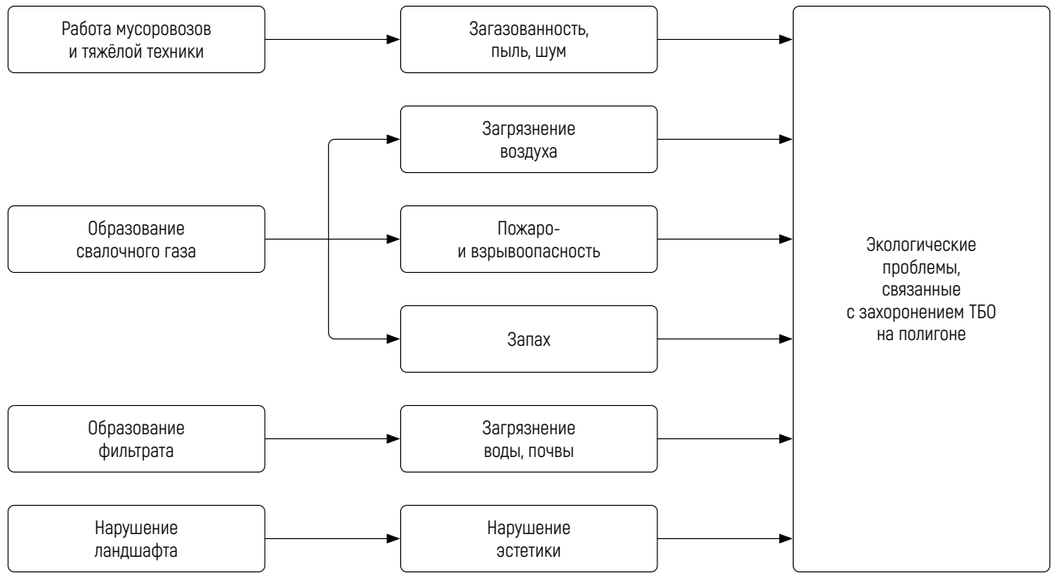


Рисунок 2 – Проблемы захоронения ТБО, которые будут решены в ЭКД биологическим циклом

Например, около 10 % ТБО – упаковочный пластик, который можно заменить аналогами из целлюлозы. Такая упаковка уже тестируется и не имеет негативных свойств с точки зрения потребителя и экологии, её изготовление планируется осуществлять в ЭКД из растительного сырья. Целлюлоза под воздействием ферментов микроорганизмов (*Cytophaga*, *Cellvibrio*, *Micromonospora*, *Streptomyces*, *Aspergillus* и др.) подвергается гидролизу с превращением в дисахарид – целлобиозу, а затем в глюкозу, которая окисляется до CO_2 и воды. Цепочка преобразований в упрощённом виде: целлюлоза – целлюлаза – целлобиоза – целлобиаза – глюкоза – $CO_2 + H_2O$.

За счёт оптимально подобранных элементов ЭКД (производства, фермы, установки и др.) количество ТБО возможно снизить на 40 % и более. Применение материалов, изначально предназначенных для вторичной переработки, в том числе металлических, стеклянных, позволит сократить выбросы ещё на 20 % в соответствии с их содержанием в отходах. Значит, более 40 % образующихся в ЭКД отходов – это целлюлоза, биополимеры (полимеры), бой стекла, пищевые отходы, части бытовых изделий и другой измельчённый мусор, которые будут разделены на органические побочные продукты и ТБО.

Биотехнологическая утилизация органических побочных продуктов в ЭКД

Утилизация органических отходов, возникающих при использовании пищевой продукции и производстве полуфабрикатов, представляет собой важный аспект устойчивого развития и экологического равновесия в замкнутой экосистеме. Данные отходы содержат значительное количество компонентов, которые могут применяться в качестве питательной базы для различных видов беспозвоночных.

Брюхоногие, такие как ахатины гигантские (*Lissachatina fulica*), виноградные улитки (*Helix pomatia*) и другие моллюски, которые могут использоваться в пищу человеком и животными, – активные потребители органических отходов растительного происхождения. Они станут эффективным утилизатором непищевых растительных отходов (листья, стебли, почки, остатки соцветий и плодов), которые будут ферментированы и измельчены их пищеварительной системой, создавая ценный источник пищи для почвенных бактерий.

Кольчатые черви, например красные калифорнийские черви (*Eisenia fetida*), также играют роль продуктивных декомпозёров органических отходов. Они питаются растительными и пищевыми остатками, разлагая их и превращая в питательный компост, отличающийся высоким содержанием органических веществ и являющийся ценным удобрением для сельского хозяйства и садоводства в замкнутой экосистеме. В ЗАО «Струнные технологии» (г. Минск, Беларусь) для оптимального вермикомпостирования выведена собственная разновидность земляных кольчатых червей *Lumbricus* uTerris, которые не только выступают как высокопродуктивный деструктор органического вещества, но и представляют собой качественный белковый корм для культивируемых птиц и рыб, дающий экономию других кормов и обеспечивающий большие привесы. В оптимальных условиях один червь может в год производить потомство до 1500 особей и выработать до 600 кг биогумуса из каждой тонны компоста. При комбинировании биотехнологий утилизации органических отходов с помощью улиток и червей эффективность процесса повышается, а результатом данной кооперации становится ценный биогумус uTerra, обладающий уникальными свойствами.

Нематоды, микроскопические круглые черви, – также важные элементы в утилизации органических отходов. Некоторые виды нематод питаются микроорганизмами, включая бактерии и грибы, которые разлагают органический материал. Накапливая в своей пищеварительной системе такой ценный микробиом, нематоды способствуют разложению органических отходов и ускоряют образование питательных веществ. Однако в отличие от кольчатых червей они употребляют в пищу в том числе корни живых растений, поэтому их применение ограничено естественным фоном.

Использование беспозвоночных животных (брюхоногие моллюски, кольчатые черви и нематоды) для утилизации органических отходов имеет несколько преимуществ. Во-первых, это сократит объём отходов в ЭКД, где пространство ограничено. Во-вторых, позволит получать биогумус, содержащий полезные почвенные бактерии, и мясную продукцию в виде брюхоногих моллюсков, которые обладают высокой концентрацией белка.

В целом разведение таких животных способствует созданию более устойчивой и замкнутой пищевой цепи, где отходы одних организмов становятся источником питания для других. Например, одна улитка *Lissachatina fulica* может утилизировать до 200 г растительной продукции в день, а занимаемая этой улиткой площадь составляет 15 $см^2$ – для взрослой и 5 $см^2$ – для малька, что свидетельствует о её производительности и эффективности в рамках применения по указанному назначению в условиях ЭКД.

Утилизация отходов древесины и продуктов, содержащих целлюлозу, в ЭКД

В замкнутой экосистеме, где присутствуют растения, непрерывно происходят процессы формирования древесины для хозяйственных нужд. Следовательно, необходимо заранее организовать утилизацию макулатурных отходов.

Современные мировые технологии предлагают использовать целлюлозолитические бактерии для конверсии целлюлозы, однако данные микроорганизмы в большинстве случаев являются термофилами и перерабатывают сырьё с образованием альдегидов, органических кислот. Это может привести к негативному воздействию на водные ресурсы и биом замкнутой экосистемы в целом. Кроме того, такие бактерии распространяют неприятный запах из-за выделения сероводорода и других газов в процессе жизнедеятельности.

В связи с вышесказанным представленные авторами подходы направлены на применение базидиальных грибов для утилизации бумаги и других целлюлозосодержащих материалов. Базидиомицеты выступают эффективными декомпозёрами целлюлозы и могут разлагать бумажные отходы. Кроме того, они являются ценными пищевыми продуктами.

В естественных лесных экосистемах органические остатки растений, включая древесину [7] и опавшие листья, разлагаются и минерализуются благодаря сапротрофам – организмам, которые используют их в качестве главного источника питания [8]. Среди сапротрофов особую роль играют грибы, обладающие разнообразным набором ферментов, специализированных на разложении лигниноцеллюлозных соединений растений.

Один из таких грибов – трутовик лакированный (*Ganoderma lucidum*), или рейши, который произрастает на мёртвых деревьях или в опавшей листве. Мицелий данного сапротрофа развивается быстро и создаёт плотную корку на поверхности открытых участков, что помогает ему сохранять влагу внутри своей структуры. В естественной среде плодовые тела гриба формируются на второй год его жизни, а спорангий, содержащий споры, располагается на длинной ножке и может иметь различные формы в зависимости от условий. Если мицелий развивается на пнях или деревьях, плодовые тела трутовика лакированного образуются аналогично другим трутовикам. В ходе многих исследований обнаружены противовоспалительные, противовирусные, антимикробные, противоаллергические и противоопухолевые свойства этого гриба [9]. К тому же он неприхотлив в уходе, что делает его перспективным при утилизации растительных остатков, непригодных в хозяйственной деятельности [10].

Рост и развитие трутовика во многом зависит от субстрата [11], и использование макулатуры в таком качестве представляется наиболее подходящим вариантом. Авторами настоящей статьи выявлено, что это позволяет ускорить формирование плодовых тел на 20 % по сравнению с применением опилок, хвороста или листового опада.

Биохимические тесты показывают, что твёрдый мицелий гриба, в том числе трутовика лакированного, имеет значительное количество гликопротеидов с включениями лигнина, что обуславливает плотную структуру мицелия с низким содержанием влаги. Он быстро и полностью захватывает бумажный субстрат, а его гифы проникают на все уровни (рисунок 3).

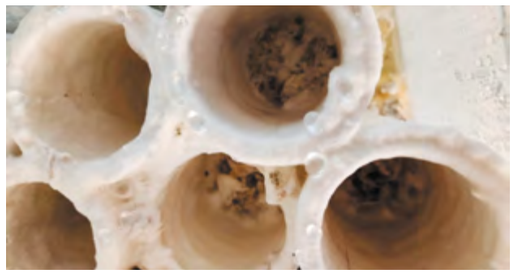


Рисунок 3 – Мицелий трутовика лакированного на бумажном субстрате

После периода стабильной влажности субстрат подсыхает, через 70 дней начинается образование первых плодовых тел гриба. Трутовик лакированный способен практически полностью поглотить древесину и целлюлозу из субстрата прорастания (рисунок 4), т. е. вся структура древесины заменяется гифами гриба.

В процессе роста мицелия на бумаге происходит подавление развития целлюлозолитических бактерий, что приводит к отсутствию специфического запаха. Трутовик лакированный, обладающий приятным грибным ароматом, применяется в медицине и в качестве кормовой добавки для сельскохозяйственных животных. Такое свойство делает его использование для утилизации бумаги и опада ещё более перспективным: после переработки бумаги оставшаяся сухая масса в основном состоит из мицелия гриба и становится ценным источником питания для животных в сельском хозяйстве.



а)



б)

Рисунок 4 – Выращивание трутовика лакированного на берёзовом полене:
а – полное поглощение древесины грибом;
б – мицелий без древесины и целлюлозы



а)



б)

Рисунок 5 – Культивирование вёшенки обыкновенной на различных лигноцеллюлозных субстратах:
а – на соломе;
б – на соломе с добавлением древесного опада

На древесине и целлюлозе можно выращивать не только лекарственные грибы, но и предназначенные для потребления в пищу: вёшенку обыкновенную (*Pleurotus ostreatus*), вёшенку лимонную (*Pleurotus citrinopileatus*), вёшенку розовую (*Pleurotus djamor*), опёнок зимний / эноки (*Flammulina velutipes*), опёнок летний (*Kuehneromyces mutabilis*), шиитаке / лентинулу съедобную (*Lentinula edodes*) и др.

Солома, которая будет постоянно образовываться в ЭКД в результате выращивания пшеницы, является подходящим субстратом для культивирования базидиальных грибов, так как содержит целлюлозу, гемицеллюлозу и лигнин, обеспечивающие для них питательные вещества.

В ходе эксперимента, проведённого в биолаборатории ЗАО «Струнные технологии», установлено, что для культивирования базидиальных грибов применимы любые отходы, богатые лигноцеллюлозой (рисунок 5): хлопковые отходы, солома, ветки фруктовых деревьев, лузга семян подсолнечника, костра льна. Можно создавать смеси растительных отходов в определённых пропорциях, чтобы содержание общего азота в субстрате составляло около 0,7 %.

Процесс культивирования грибов состоит из нескольких этапов. Сначала субстрат замачивается в горячей воде (92–95 °C) в течение 20 мин для достижения максимального увлажнения. Затем он упаковывается в специальные полипропиленовые пакеты с фильтром. На следующий день охлаждённый субстрат инокулируется чистым мицелием базидиального гриба в асептических условиях. После этого пакет герметично запаивается с соблюдением стерильности и хранится в специальном помещении с контролируемыми климатическими параметрами: относительная влажность в пределах 75–85 %, температура около 20 °C. Вёшенка обыкновенная наилучшим образом развивается на субстратах из опавшей листвы берёзы и дуба, костры льна и соломы пшеницы мягкой (рисунок 6).

Представленные авторами подходы предлагают альтернативу целлюлозолитическим бактериям для утилизации целлюлозы и бумажных отходов. Использование базидиальных грибов позволяет эффективно перерабатывать бумагу и другие целлюлозосодержащие компоненты, не загрязняя воду и не выделяя специфические запахи, а образующийся

в результате субстрат применяется для культивирования агрономически ценных почвенных микроорганизмов в слое плодородной земли. Кроме того, данный подход может быть частью процесса производства ценных пищевых продуктов.



Рисунок 6 – Субстратные блоки
для выращивания вёшенки обыкновенной:
а, б – опилки ольхи; в – костра льна;
г – опилки дуба; д, е – солома пшеницы мягкой

Очистка воды от загрязнения в ЭКД

При ведении сельского хозяйства, в том числе при содержании фермы или оранжереи в замкнутых экосистемах, невозможно избежать влияния на окружающую среду. Воздействие может проявляться в виде загрязнения воды органическими веществами и почвенными стоками.

Один из потенциальных источников загрязнения воды – увеличение концентрации органических веществ, имеющихся в почве, за счёт разложения органики. Данные вещества полезны для повышения урожайности, однако при попадании в водные источники (водоёмы и грунтовые воды в результате смыва с почвы) могут вызывать проблемы с качеством воды и негативно сказываться на установленных экосистемах, а значит, на рыбах и других водных организмах.

В ходе сельскохозяйственной деятельности в ЭКД требуется предусмотреть вероятность накопления органических веществ в водоочистных системах. Например, в животноводстве или при производстве агрономической продукции образуются стоки, содержащие органические отходы. Для минимизации их отрицательного влияния на окружающую среду в замкнутых экосистемах необходимо применять устойчивые методы и практики очистки воды.

В ЭКД будет осуществляться очистка стоков с помощью сорбентов, а сточный ил подвергнется переработке посредством полезных микроорганизмов и специфических видов кольчатых червей, что приведёт к формированию плодородного биогумуса. Оставшуюся загрязнённую воду направят в специальные ёмкости, которые содержат биофильтры из иммобилизированной на минералах хлореллы (рисунок 7) и других одноклеточных водорослей. Процесс очистки также включит применение двустворчатых моллюсков для контроля численности водорослей и создания источника пищи для рыб и животных [12, 13].

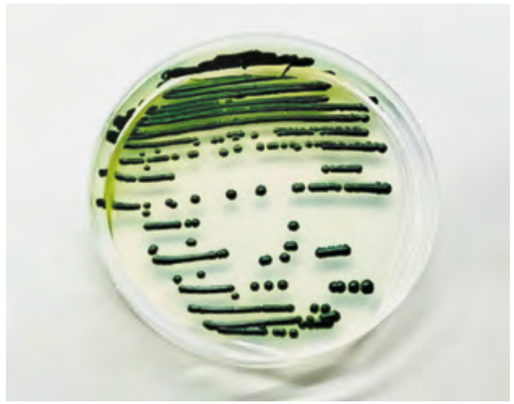


Рисунок 7 – *Chlorella vulgaris*
на твёрдой агаризованной среде в чашке Петри

Утилизация сложноразлагаемых ТБО в ЭКД

Измельчённые отходы, утилизация которых невозможна без получения напрямую пищевой и растительной продукции, в ЭКД планируется перерабатывать в высокоплодородный биогумус (более плодородный, чем тучный чернозём) в толще почвы при помощи ассоциаций агрономически ценных микроорганизмов, водорослей и грибов. Гумус, в свою очередь, позволит выращивать на этой почве любые сельскохозяйственные культуры, поскольку он, будучи населённым полезными микроорганизмами (около триллиона особей в 1 кг), является единственным универсальным питанием для всех видов земных растений. Таким образом замыкается круговорот вещества в системе ЭКД.

Резину, стекло, керамику, краску, кожу, текстиль, промывные воды, общий смёт и другие отходы предполагается утилизировать в несколько этапов. Всё перечисленное будет измельчаться при помощи шредеров и закапываться на глубину 40–60 см для дальнейшей переработки находящимися в почве микроорганизмами. Полученный биогумус сможет применяться для культивирования растений (рисунок 8).

Заключение

В данной статье описана проблематика образования и утилизации отходов в замкнутых экосистемах, предназначенных для бесконечно длительного обитания человека, таких как ЭКД. Приведены основные источники отходов, аргументировано разделение производственных и бытовых отходов. Выполнены анализ и типизация различных видов ТБО, которые появляются в системах подобного типа.

Авторами представлен процесс биотехнологической утилизации при помощи последовательного отделения необходимых компонентов, измельчения и глубокой заделки в почву для дальнейшей переработки агрономически ценными анаэробными почвенными микроорганизмами. Выбор анаэробов продиктован тем, что они не задействуют в своём метаболизме кислород, но в то же время перерабатывают отходы. Кроме того, планируется осуществлять предварительное отделение органических остатков, которые могут употребляться в пищу животными.

Рассмотрены основные виды живых организмов (черви, бактерии, микрогрибы, водоросли), которые будут участвовать в переработке отходов в ЭКД, а также предложены решения, позволяющие оптимизировать применение вторичных продуктов и создать замкнутую биосферу с круговоротом биогенных элементов без вреда для внутренней среды и жителей ЭКД.

Приведённые данные показывают, что при использовании некоторых технологий можно реализовать замкнутую экосистему для комфортного обитания людей, в которой отходы будут полностью перерабатываться и возвращаться в цикл при помощи живых организмов и технических средств, необходимых для измельчения. Представленные концепции могут применяться как в ЭКД, так и при строительстве экодомов на Земле.

Список основных источников

1. *Манохин, В.Я. Нормы накопления ТБО, их состав и свойства / В.Я. Манохин, М.В. Манохин // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2014. – Т. 2, № 1 (5). – С. 236–241.*
2. *Геоэкологические факторы и нормы накопления твёрдых бытовых отходов / М.В. Манохин [и др.] // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. – № 4 (34). – С. 370–376.*
3. *Ishangulyyev, R. Understanding Food Loss and Waste – Why Are We Losing and Wasting Food? / R. Ishangulyyev, S. Kim, S.H. Lee // Foods. – 2019. – Vol. 8, iss. 8. – 297.*
4. *Юницкий, А.Э. Потенциал использования целлюлозолитических микроорганизмов для биодеградации твёрдых бытовых отходов / А.Э. Юницкий, Е.А. Соловьёва, М.М. Парфенчик // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 12 сент. 2020 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – С. 434–441.*

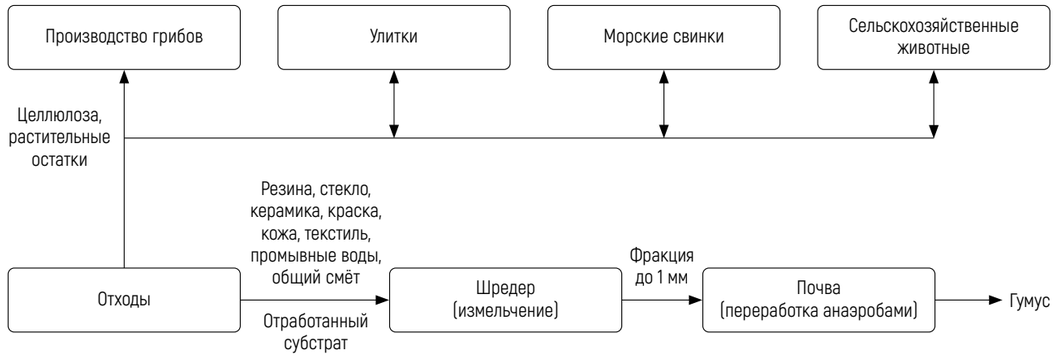


Рисунок 8 – Схема утилизации отходов в ЭКД

5. *Yazdan, M.M.S. The Environmental and Health Impacts of Steroids and Hormones in Wastewater Effluent, as Well as Existing Removal Technologies: A Review / M.M.S. Yazdan, R. Kumar, S.W. Leung // Ecologies. – 2022. – Vol. 3, iss. 2. – P. 206–224.*
6. *Steroid Hormones in Wastewater: Sources, Treatments, Environmental Risks, and Regulations / B. Almazrouei [et al.] // Emerging Contaminants. – 2023. – Vol. 9, iss. 2. – 100210.*
7. *Химия древесины и синтетических полимеров: лаб. практикум для студентов специальности 1-48 01 05 «Химическая технология переработки древесины» / сост. А.И. Ламоткин, Ж.В. Бондаренко. – Минск: БГТУ, 2005. – 82 с.*
8. *Chang, S.T. Mushrooms: Cultivation, Nutritional Value, Medicinal Effect, and Environmental Impact / S.T. Chang, P.G. Miles. – 2nd ed. – Boca Raton [etc.]: CRC Press, 2004. – 480 p.*
9. *Fungi in Biogeochemical Cycles / ed. G.M. Gadd. – Cambridge: Cambridge University Press, 2006. – 490 p.*
10. *A Review on Valorization of Oyster Mushroom and Waste Generated in the Mushroom Cultivation Industry / W.A. Wan Mahari [et al.] // Journal of Hazardous Materials. – 2020. – Vol. 400. – 123156.*
11. *Ogundele, G.F. Effect of Pure and Mixed Substrate on Oyster Mushroom (Pleurotus ostreatus) Cultivation / G.F. Ogundele, R.O. Abdulazeez, O.P. Bamidele // Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences. – 2014. – Vol. 2, iss. II s. – P. 215–219.*
12. *Кузнецов, Н.А. Использование суспензии Chlorella vulgaris (Beijerinck, штамм IBCE C-19) как удобрения и средства защиты растений в органическом сельском хозяйстве / Н.А. Кузнецов, А.И. Козлов, Т.В. Козлова // Современные технологии сельскохозяйственного производства: агрономия, защита растений, технология хранения и переработки сельскохозяйственной продукции: сб. науч. ст. по материалам XXIV междунар. науч.-практ. конф., Гродно, 23 марта, 14 мая 2021 г. – Гродно: ГГАУ, 2021. – С. 145–146.*
13. *Microspectroscopy of the Photosynthetic Compartment of Algae / V. Evangelista [et al.] // Photochemistry and Photobiology. – 2006. – Vol. 82, iss. 4. – P. 1039–1046.*



УДК 582.663.2:631.547+629.7

Индукция корнеобразования у амаранта овощного под воздействием элиситора из трутовика лакированного

Е.А. Крюков

В.С. Заяц

И.В. Налетов

ЗАО «Струнные технологии»,
г. Минск, Беларусь

В ходе исследования изучена возможность индукции корнеобразования у амаранта овощного (*Amaranthus hypochondriacus* L.) под воздействием биогенного элиситора, выделенного из трутовика лакированного (*Ganoderma lucidum* (Curt.)) из коллекции грибов ЗАО «Струнные технологии» (г. Минск, Беларусь). Семена подвергались предпосевной обработке в виде замачивания в растворах элиситора с концентрациями 5×10^{-2} и 1×10^{-3} мл/л.

Для комплексной оценки влияния выбранного биологически активного вещества на ризогенез амаранта рассмотрены следующие параметры корневой системы: частота ветвления на 1 мм, общая длина, медианный диаметр и площадь.

Анализ биометрических показателей проводился с помощью программного обеспечения ImageJ и RhizoVision. Результаты исследования выявили положительное воздействие полученного биостимулятора на ризогенез.

Ключевые слова:
адаптация растений, амарант овощной (Amaranthus hypochondriacus L.), ризогенез, стимуляторы роста, трутовик лакированный (Ganoderma lucidum (Curt.)), элиситоры.

UDC 582.663.2:631.547+629.7

Induction of Root Formation in *Amaranthus hypochondriacus* L. Under Influence of Elicitor from *Ganoderma lucidum* (Curt.)

Y. Krukau

V. Zayats

I. Naletov

Unitsky String Technologies Inc.,
Minsk, Belarus

In the course of the research, the possibility of induction of root formation in *Amaranthus hypochondriacus* L. under the influence of a biogenic elicitor isolated from *Ganoderma lucidum* (Curt.) from the fungi collection of Unitsky String Technologies Inc. (Minsk, Belarus) was studied. The seeds were subjected to pre-sowing treatment in the form of soaking in elicitor solutions with concentrations of 5×10^{-2} and 1×10^{-3} ml/l.

To comprehensively evaluate the effect of the selected biologically active substance on *Amaranthus hypochondriacus* L. rhizogenesis, the following root system parameters were considered: branching frequency per 1 mm, total length, median diameter and area.

Biometric parameters were analyzed using ImageJ and RhizoVision software. The results of the study have revealed a positive effect of the obtained biostimulant on rhizogenesis.

Keywords:
Amaranthus hypochondriacus L., elicitors, Ganoderma lucidum (Curt.), growth stimulants, plant adaptation, rhizogenesis.

Введение

Амарант овощной (*Amaranthus hypochondriacus* L.) – однолетнее растение семейства *Amaranthaceae*. Благодаря своему генетическому потенциалу данная культура считается перспективной для сельского хозяйства [1], поскольку способна производить большое количество семян (около 500 000 на одно растение), являющихся ценным источником питательных веществ, витаминов, минералов и клетчатки. Содержание белков в амаранте может достигать 18 % от общей биомассы семян. Его зерно известно сбалансированным набором аминокислот, включая лизин и метионин, которые в других зерновых культурах обычно присутствуют в недостаточных для человека количествах. Богатый клетчаткой амарант нормализует пищеварение и сохраняет здоровый уровень холестерина в крови. Кроме того, выступает источником витаминов (в том числе С и Е), минералов (железо, кальций и магний) и антиоксидантов, которые помогают укрепить иммунную систему и защитить организм от свободных радикалов.

Стоит также отметить полное отсутствие глютена в муке амаранта, что делает её ценным продуктом для людей, страдающих целиакией – непереносимостью глютена. Сверх того, в амарантовом крахмале доля легкоусвояемого амилопектина выше по сравнению с труднопереваримой амилозой, что обеспечивает более быстрое расщепление крахмала ферментами и высвобождение глюкозы. Дополнительным фактором, содействующим эффективному перевариванию крахмала амаранта, является его мелкодисперсная структура. Размер крахмальных гранул колеблется от 1,5 до 3 мкм, что значительно меньше, чем у такой зерновой культуры, как пшеница (5–26 мкм). Это облегчает доступ пищеварительных ферментов, например амилазы, к крахмальным полимерам.

Амарант – неприхотливое растение при культивировании его в сельском хозяйстве, хорошо адаптирующееся к широкому спектру условий окружающей среды; успешно произрастает на различных типах почв, включая песчаные, глинистые и супесчаные, что позволяет использовать его в ЭкоКосмоДоме (ЭКД) [2] как одну из основных культур.

Ценное преимущество амаранта – способность переносить засолённые и засушливые земли. Соответственно, он может выживать и плодоносить даже на почвах с повышенной засолённостью или при ограниченном доступе к воде, что особенно важно в ЭКД.

При экстремальных температурах, недостатке влаги или воздействии вредных веществ и болезней рост и развитие амаранта могут быть замедленными или нарушенными, что отрицательно сказывается на урожайности. Значит, в ЭКД для данного растения необходимо обеспечить оптимальные условия культивирования и защиты от стрессовых факторов.

Кроме того, амарант способен активно расти и развиваться в ювенильной стадии: он быстро формирует листья и стебли, накапливает биомассу и, как результат, даёт высокий урожай семян. Это позволяет опережать другие растения в конкуренции за ресурсы, что является преимуществом при выращивании культуры.

Развитие корней – основной этап в процессе прорастания семян, и дальнейший рост надземной части зависит от развитой корневой системы [3], выполняющей несколько важных задач: поглощение воды и минеральных веществ, обеспечение устойчивости в почве, синтез определённых гормонов в паренхиме, аккумуляция питательных элементов. После прорастания семян корень начинает синтезировать цитокинины и гиббереллины, которые направляются в побег и способствуют развитию стеблевых апикальных меристем, функциональной активности листьев. Стабильное развитие корневой системы и образование побегов приводят к накоплению значительной вегетативной массы, что благоприятно влияет на урожайность культуры [3].

Следует отметить, что процесс корневого образования, или ризогенеза, начинается уже на стадии проклёвывания семян. В этот период необходимо обеспечить оптимальные условия для роста корней, включая достаточное количество влаги, питательных веществ и подходящую почву. Изменение любых параметров может восприниматься как стрессовый фактор и приводить к замедлению роста и развития корней и даже к гибели амаранта [3, 4].

В обычных сельскохозяйственных системах для защиты культур и стимуляции их развития широко применяются пестициды, гербициды и синтетические регуляторы роста. Однако в контролируемых замкнутых средах, таких как ЭКД, синтетические агрохимикаты могут оказывать негативное влияние на микробиоценоз. Их использование требует особых мер предосторожности, что усложняет технологические процессы культивирования растений. К тому же получение данных веществ в условиях ограниченных ресурсов ЭКД представляет определённые трудности. Для защиты и стимуляции роста культур в контролируемых средах необходимы альтернативные, более безопасные подходы. В этом плане перспективными являются биогенные элиситоры. Они экологически безвредны и могут быть изготовлены непосредственно в ЭКД. Применение таких биостимуляторов позволит поддерживать оптимальное развитие сельскохозяйственных культур, сохраняя при этом баланс внутри замкнутой экосистемы.

Некоторые элиситоры способны активизировать защитные реакции растений, другие – биохимические изменения, которые могут привести к увеличению биомассы, диаметра стебля, росту корней и стимуляции цветения [4, 5]. Использование данных веществ повышает выживаемость и ускоряет процесс адаптации растений за счёт системной устойчивости, активизации защитных функций и более эффективного потребления ресурсов [6, 7].

Элиситоры представляют собой разнообразные факторы, воздействующие на растения, и подразделяются на биотические и абиотические. К абиотическим стрессорам можно отнести физическое воздействие ветра на надземную биомассу, температурные колебания (в том числе экстремальные), осмотический шок или наличие тяжёлых металлов. Биотические элиситоры могут включать экзогенные белки, материалы клеточных стенок растений, компоненты бактерий и грибов [8, 9]. Например, вещества, функционально необходимые грибу, активируют трансмембранные паттерн-распознающие рецепторы (PRR), развившиеся в ходе коэволюции в клетках растений, что приводит к стимуляции выработки вторичных метаболитов [5, 8, 10, 11].

Таким образом, использование элиситоров повышает выживаемость и приспособляемость растений благодаря активизации системных защитных механизмов и оптимизации потребления ресурсов.

Целью данного исследования является оценка влияния элиситоров, выделенных из сапрофитного гриба – трутовика лакированного (*Ganoderma lucidum* (Curt.)), на процесс корневого образования у амаранта овощного в асептических условиях.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования использовались асептические корни проростков амаранта овощного. Семена растения предварительно стратифицировали при температуре 6 °C в течение 10 дней.

Для проведения эксперимента получен биогенный элиситор из трутовика лакированного по методике, разработанной сотрудниками ЗАО «Струнные технологии» (г. Минск, Беларусь). Перед посевом семена амаранта замачивали 5 ч в водных растворах данного вещества в двух концентрациях: 5×10^{-2} и 1×10^{-3} мл/л. Контрольные семена выдерживали в дистиллированной воде.

После экспонирования в растворах элиситора семена высевали в чашки Петри по семь штук в каждую в четырёх образцах. В качестве питательной среды использовалась среда Мурасиге – Скуга, содержащая стандартный перечень витаминов, макро- и микроэлементов. Чашки Петри вертикально помещали в специализированную стойку, чтобы свести к минимуму воздействие света на корневую систему проростков. Затем их переносили в камеру выращивания с 16-часовым фотопериодом и температурой 26 °C.

Для оценки влияния грибного элиситора регистрировались следующие параметры роста и развития корневой системы:

- частота ветвления на 1 мм;
- общая длина;
- медианный диаметр;
- площадь.

Измерения проводились на 4-е, 6-е, 11-е и 14-е сутки с помощью фотофиксации и последующего анализа фотографий с использованием программного обеспечения ImageJ и RhizoVision [12].

Экспериментальная часть

Параметр всхожести семян не анализировался в условиях данного эксперимента, однако стоит отметить различия в их прорастании в вариациях опыта. Так, визуально во всех образцах эксперимента лучшая всхожесть отмечена у семян, обработанных элиситором, особенно в концентрации 5×10^{-2} мл/л (рисунок 1).

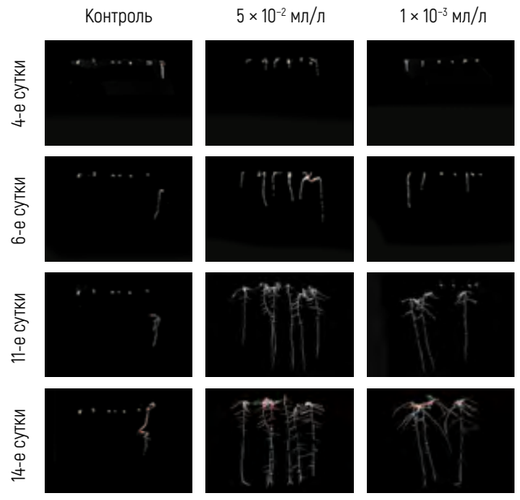


Рисунок 1 – Индукция развития корневой системы амаранта овощного под влиянием грибного элиситора

Фотофиксация показала, что на 4-е сутки при концентрации элиситора 5 × 10^{-2} мл/л количество успешно проросших семян выше по сравнению с контрольной группой и группой с меньшей дозой вещества (1 × 10^{-3} мл/л). Кроме того, наблюдается более развитая корневая система у растений, получивших высокую концентрацию элиситора. Результаты измерений представлены в таблице.

Исследуемые параметры влияют на возможность корневой системы к эксплорации почвы. Так, при увеличении длины корней растение проникает в более глубокие слои почвы и, соответственно, лучше приспосабливается к изменяющимся условиям среды, включая засуху.

На протяжении всего эксперимента образцы с концентрацией элиситора 5 × 10^{-2} мл/л демонстрировали наивысшие результаты по общей длине корневой системы (рисунок 2). Так, на 4-е сутки данный показатель при концентрации элиситора 5 × 10^{-2} мл/л в 4,75 раза больше, чем в контрольной группе, и в 3,64 раза больше, чем в группе с концентрацией элиситора 1 × 10^{-3} мл/л. По мере продолжения опыта разница между исследуемыми вариантами немного сглаживалась, но всё также оставалась значительной. На 14-е сутки она составила 3,24 раза в контроле и 1,24 раза при меньшей концентрации действующего вещества.

Таблица – Биометрические показатели корневой системы амаранта овощного, выращенного под влиянием грибного элиситора

Номер образца	4-е сутки вегетации				6-е сутки вегетации				11-е сутки вегетации				14-е сутки вегетации			
	L, мм	*N*	*d*, мм	*S*, мм^2	*L*, мм	*N*	*d*, мм	*S*, мм^2	*L*, мм	*N*	*d*, мм	*S*, мм^2	*L*, мм	*N*	*d*, мм	*S*, мм^2
Контроль																
1	12,8	0,55	0,59	22,44	32,94	0,64	0,3	31,31	41,89	0,17	0,47	65,94	70,54	0,45	0,35	94,48
2	18,02	0,72	0,44	31,39	49,54	0,81	0,33	66,65	101,94	0,17	0,47	160,57	215,13	0,58	0,35	374,96
3	16,75	0,6	0,44	28,91	48,04	0,54	0,33	60,33	178,26	0,38	0,47	320,67	344,57	0,44	0,7	884,92
4	18,67	0,16	0,29	20,24	78,05	0,51	0,3	82,48	238,15	0,25	0,47	385,68	471,87	0,32	0,35	693,96
Средний показатель	16,56	0,51	0,44	25,74	52,14	0,62	0,32	60,19	140,06	0,24	0,47	233,21	275,53	0,45	0,44	512,08
Концентрация элиситора 5 × 10^{-2} мл/л																
1	107,86	0,73	0,33	165,29	235,61	0,67	0,3	364,57	863,25	0,33	0,49	1612,47	1215,71	0,35	0,35	1891,84
2	87,03	0,89	0,3	92,32	137,02	0,56	0,3	154,79	460,16	0,18	0,49	766,91	987,72	0,3	0,35	1632,94
3	31,56	0,67	0,3	37,27	77,33	0,91	0,3	102,92	342,9	0,35	0,49	585,88	705,78	0,45	0,35	1375,96
4	88,5	0,51	0,3	103,25	189,96	0,87	0,3	205,81	327,64	0,22	0,49	552,83	662,62	0,38	0,35	1040,8
Средний показатель	78,74	0,7	0,3	99,53	159,98	0,75	0,3	207,02	498,49	0,27	0,49	879,52	892,96	0,37	0,35	1485,38
Концентрация элиситора 1 × 10^{-3} мл/л																
1	10,13	0,2	0,29	10,71	67,39	0,85	0,34	90,24	170,61	0,22	0,48	268,58	198,13	0,18	0,35	261,57
2	40,42	0,64	0,44	70,63	94,45	0,7	0,43	135,74	464,39	0,31	0,48	783,79	717,44	0,37	0,35	1258
3	22,25	0,67	0,44	37,26	72,95	0,63	0,45	106,05	387,23	0,28	0,48	656,21	825,92	0,33	0,35	1348,05
4	13,8	0,73	0,44	18,38	129,66	0,82	0,45	205,82	652,44	0,27	0,48	1177,39	1138,66	0,35	0,35	1766,12
Средний показатель	21,65	0,56	0,4	34,25	91,11	0,75	0,42	134,46	418,67	0,27	0,48	721,49	720,04	0,31	0,35	1158,43

Примечание. *L* – общая длина корней; *N* – частота ветвления на 1 мм; *d* – медианный диаметр; *S* – площадь корневой системы.

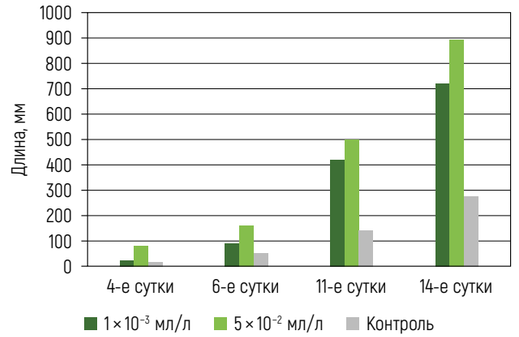


Рисунок 2 – Динамика изменения общей длины корневой системы амаранта под влиянием грибного элиситора

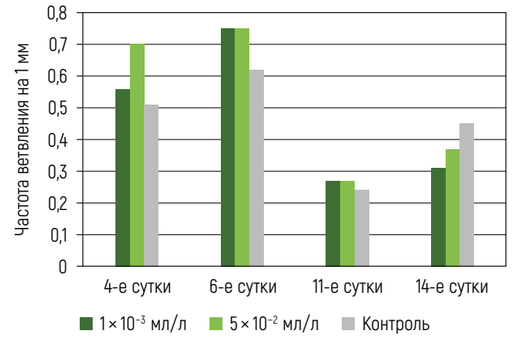


Рисунок 3 – Динамика изменения частоты ветвления на 1 мм корней амаранта под влиянием грибного элиситора

Диаметр корней, их частота ветвления и общая длина прямо влияют на показатель площади корневой системы растения, которая определяет общую поверхность корней, доступную для поглощения воды, микро- и макроэлементов из почвы.

Частота ветвления корневой системы – мера плотности боковых ответвлений на единицу длины основного корня (осевого). Чем больше данный показатель, тем плотнее корни распределены в почве. Иногда частота бывает высокой, однако некоторые растения, особенно эпифиты (водные виды), являются исключением.

Процесс ветвления индуцируется за счёт микоризы (симбиотическое взаимодействие с грибами) и включает образование корневых волосков, количество которых может зависеть от диаметра корня.

Мониторинг полученных данных подтверждает преимущество замачивания семян в растворе с высокой концентрацией элиситора для ветвления корней. Значительная разница между вариантами наблюдалась на начальном этапе (рисунок 3). На 4-е сутки эксперимента показатель частоты ветвления составил 0,7 при концентрации элиситора 5 × 10^{-2} мл/л, в то время как в контрольной группе – 0,51. При концентрации элиситора 1 × 10^{-3} мл/л зафиксирован относительно схожий результат – 0,56.

В дальнейшем разница между вариантами сглаживалась. На 6-е сутки эксперимента показатель частоты ветвления составил 0,75 для концентраций элиситора 5 × 10^{-2} и 1 × 10^{-3} мл/л, в то время как в контрольной группе был равен 0,62 (рисунок 3). В последние сутки проводимого эксперимента показатель контрольной группы превысил остальные и достиг 0,45, в то время как для концентрации 5 × 10^{-2} мл/л – 0,37, а для концентрации 1 × 10^{-3} мл/л – 0,31.

Низкие показатели наблюдаются для варианта 5 × × 10^{-2} мл/л на диаграмме медианного диаметра корней (рисунок 4). К примеру, на 4-е и 6-е сутки он составил 0,3 мм по сравнению с контролем – 0,44 мм и 0,32 мм соответственно. Диаметр для вариантов с концентрацией элиситора 1 × 10^{-3} мл/л находился в диапазоне от 0,4 до 0,42 мм. На 11-е сутки медианные диаметры для всех вариантов были близки и достигли (0,48 ± 0,01) мм. На 14-е сутки самый высокий показатель 0,44 мм – в контрольной группе.

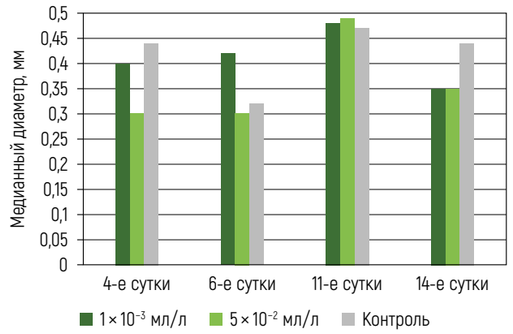


Рисунок 4 – Динамика изменения медианного диаметра корней амаранта под влиянием грибного элиситора

Данные результаты можно объяснить следующим: медианный диаметр представляет собой значение диаметра, разделяющее выборку на две равные части: 50 % диаметров меньше медианного значения, а оставшиеся – больше. У варианта с высокой концентрацией элиситора

значения количества корневых ответвлений превалируют на 4-е, 6-е и 11-е сутки, что соответствует увеличенному числу новообразованных корней. Их диаметр будет меньше, чем уже сформированных, что и приводит к более низким значениям медианного диаметра.

При анализе площади корневой системы обнаружено, что при концентрации элиситора 5×10^{-2} мл/л преобладали высокие значения для всех измерений (рисунок 5), что соответствует ожиданиям, основанным на предыдущем анализе исследуемых параметров.

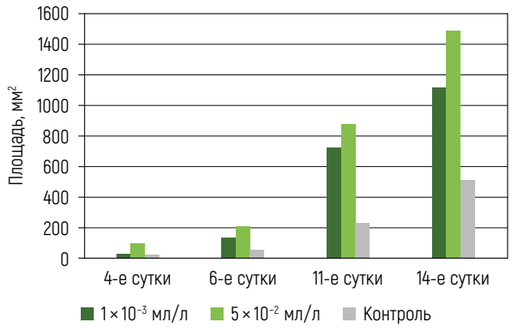


Рисунок 5 – Динамика изменения площади корневой системы амаранта под влиянием грибного элиситора

Для меньшей концентрации элиситора также наблюдалось превышение значений над контрольными. Например, на 14-е сутки общая площадь корневой системы растений в группе с высокой концентрацией элиситора составила 1485,38 см^2, что в 2,9 раза больше, чем показатель контроля, и в 1,28 раза больше, чем при низкой концентрации элиситора.

Заключение

Переход к использованию биогенных элиситоров вместо синтетических агрохимикатов является важным шагом в создании устойчивых технологий культивирования растений для применения в контролируемых средах замкнутого типа.

Данные эксперимента указывают на лучшее развитие корневой системы у растений, полученных из семян, предварительно обработанных элиситором из трутовика лакированного, по сравнению с контрольной группой. Наибольшая стимуляция ризогенеза наблюдалась при концентрации элиситора 5×10^{-2} мл/л и составила в среднем 50 %. Таким образом, результаты исследования свидетельствуют о том, что замачивание семян в растворе с высоким содержанием элиситора способствует увеличению показателей общей длины, площади и частоты ветвления корневой системы, особенно на ранних стадиях развития растений. При этом разница между вариантами уменьшается со временем, что объясняется более ранним развитием корневой системы под воздействием элиситора.

При экстраполяции экспериментальных данных можно ожидать сокращения сроков плодоношения растений, а также повышения усвояемости элементов питания корневой системой. Проведённая работа позволила получить ряд важных результатов, подтверждающих потенциал элиситора, выделенного из трутовика лакированного, в индукции развития корневой системы амаранта овощного и подчёркивающих роль указанного биостимулятора в повышении урожайности и устойчивости культурных растений в условиях ЭКД и в иных замкнутых экосистемах.

Список основных источников

1. *Paredes-Lopez, O. Amaranth Biology, Chemistry, and Technology / O. Paredes-Lopez. – Boca Raton: CRC Press, 2018. – 233 p.*
2. *Юницкий, А.Э. Особенности проектирования жилого космического кластера «ЭкоКосмоДом» – миссия, цели, назначение / А.Э. Юницкий // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 51–57.*
3. *Полевой, В.В. Физиология растений: учеб. для биол. спец. вузов / В.В. Полевой. – М.: Высш. шк., 1989. – 464 с.*
4. *Либберт, Э. Физиология растений / Э. Либберт. – М.: Мир, 2006. – 580 с.*
5. *Nürnberger, T. Fungal Peptide Elicitors: Signals Mediating Pathogen Recognition in Plants / T. Nürnberger, D. Nennstiel // Zeitschrift für Naturforschung C. – 1998. – Vol. 53, iss. 3–4. – P. 141–150.*
6. *Дьяков, Ю.Т. Грибные элиситоры / Ю.Т. Дьяков // Биотические связи грибов: мосты между царствами: материалы VII всерос. миколог. шк.-конф. с междунар. участием, Звенигород, 2–8 авг. 2015 г. / Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова, Звенигород. биол. станция им. С.Н. Скадовского. – М.: ЗБС МГУ, 2015. – С. 18–38.*
7. *Заяц, В.С. Протекторная способность экзогенных элиситоров из Ganoderma lucidum при индукции солевого стресса у кресс-салата / В.С. Заяц, И.В. Налетов, Е.А. Крюков // Настоящее и будущее биотехнологии растений: материалы междунар. науч. конф., Минск, 24–26 мая 2023 г. / НАН Беларуси, Центр. ботан. сад, Совет ботан. садов стран СНГ при МААН; редкол. В.Н. Решетников [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2023. – С. 75.*
8. *Крюков, Е.А. Индукция устойчивости к засолению у растений Arabidopsis thaliana (L.) Heynh под влиянием элиситоров: аннот. к диплом. работе / Е.А. Крюков; БГУ, биолог. фак., каф. клеточ. биологии и биоинженерии растений; науч. рук. Е.Н. Крытынская. – Минск: БГУ, 2022. – 58 с.*
9. *Albert, M. Peptides as Trigger of Plant Defence / M. Albert // Journal of Experimental Botany. – 2013. – Vol. 64, iss. 17. – P. 5269–5279.*
10. *Yamaguchi, Y. Endogenous Peptide Elicitors in Higher Plants / Y. Yamaguchi, A. Huffaker // Current Opinion in Plant Biology. – 2011. – Vol. 14, iss. 4. – P. 351–357.*
11. *Крюков, Е.А. Применение элиситоров для улучшения адаптивности растений в условиях ЭкоКосмоДома / Е.А. Крюков, В.С. Заяц, И.В. Налетов // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы VI междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 7–8 окт. 2023 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2024. – С. 382–389.*
12. *RhizoVision Explorer: Open-Source Software for Root Image Analysis and Measurement Standardization / A. Seethepalli [et al.] // AoB Plants. – 2021. – Vol. 13, No. 6.*



УДК 582.736:631.547+629.7

Влияние элиситоров бактериального происхождения на рост и развитие гороха полевого

В.С. Заяц

И.В. Налетов

Е.А. Крюков

ЗАО «Струнные технологии»,
г. Минск, Беларусь

Изучено влияние биологически активных веществ элиситорного действия, выделенных из бактерий *Pseudomonas aurantiaca*, на стимуляцию роста и развития однолетних травянистых бобовых растений на примере гороха полевого (*Pisum arvense* L.). Для исследования в качестве элиситоров помимо культуры клеток *Pseudomonas aurantiaca* применялись продукты метаболизма этих бактерий и чистая аминокислота триптофан. Растения культивировались на жидкой питательной среде Эллиса с различными стимуляторами роста, внесение проводилось каждые семь дней вегетации. В ходе эксперимента анализировались среднесуточный прирост, средняя масса плодов гороха, вегетативная масса растений (сухая и сырая). Полученные данные говорят о возможности использования изучаемых веществ в качестве биогенной подкормки. Результаты работы могут применяться в условиях замкнутых экосистем (например, в ЭкоКосмоДоме) для ускорения роста и развития растений.

Ключевые слова:
горох полевой (Pisum arvense L.), ризобактерии, стимуляторы роста, элиситоры, Pseudomonas aurantiaca.

UDC 582.736:631.547+629.7

Effect of Bacterial-Origin Elicitors on Growth and Development of Field Pea

V. Zayats

I. Naletov

Y. Krukau

Unitsky String Technologies Inc.,
Minsk, Belarus

The effect of biologically active substances with elicitor action, derived from the bacterium *Pseudomonas aurantiaca*, on the stimulation of growth and development of annual herbaceous legumes was investigated using field pea (*Pisum arvense* L.) as the model plant. Alongside the *Pseudomonas aurantiaca* cell culture, pure amino acid tryptophan and metabolic products of these bacteria were utilized as elicitors. Plants were cultivated on Ellis liquid nutrient medium supplemented with various growth stimulants, applied every seven days throughout the vegetation period. During the experiment, parameters such as average daily growth, average pea fruit weight and the vegetative mass of plants (both dry and wet) were analyzed. The findings indicate the potential of the tested substances as biogenic fertilizers. These results could be particularly valuable in enclosed ecosystems, such as EcoCosmoHouse, to enhance plant growth and development.

Keywords:
elicitors, field pea (Pisum arvense L.), growth stimulants, Pseudomonas aurantiaca, rhizobacteria.

Введение

Экзогенное применение биологических регуляторов роста культур – важный элемент современной технологии сельскохозяйственного производства [1]. L-триптофан является физиологическим предшественником биосинтеза ауксина как у микроорганизмов, так и у высших растений и влияет на моделирование их роста и развития [2]. Ауксин тесно связан с развитием корневой системы при абиотических стрессах, например при засолении, засухе и загрязнении тяжёлыми металлами. Изменения в метаболизме ауксина играют регулирующую роль в стресс-индуцированных перестройках морфологии корней [3]. L-триптофан может повышать устойчивость растений к стрессу, положительно воздействуя на уровень эндогенных гормонов и физиологических процессов.

Естественные сельскохозяйственные экосистемы напрямую зависят от присутствующих в почве и корнеобитаемом слое микроорганизмов, которые приводят к повышению урожайности [4, 5]. Полезные микробы ризосферы – важные факторы, определяющие здоровье растений и плодородие почвы, поскольку участвуют во многих ключевых экосистемных процессах, таких как биологический контроль патогенов растений, круговорот питательных веществ и прорастание семян [6].

Большинство флуоресцентных псевдомонад, выделенных из ризосферы растений, способствуют их росту с помощью прямых и косвенных механизмов. Так, бактерии *Pseudomonas aurantiaca*, подвид *Pseudomonas chlororaphis* [7, 8], вырабатывают фитогормоны, например индол-3-уксусную кислоту – один из наиболее физиологически активных ауксинов, продукт метаболизма L-триптофана, напрямую обуславливая рост культур [9, 10]. Кроме того, они производят вторичные метаболиты, которые подавляют развитие патогенных бактерий и грибов и таким образом косвенно воздействуют на растения [11, 12].

В эксперименте в качестве модельного растения для анализа влияния выбранных стимуляторов на бобовые культуры использовался горох полевой (*Pisum arvense* L.). Растение богато белком, углеводами, пищевыми волокнами, витаминами и минералами, может применяться для частичной замены животного белка. Белки и крахмал гороха взаимодействуют с углеводными, белковыми и масляными фракциями различных ингредиентов в пищевых продуктах. В сельском хозяйстве культура выращивается как севооборотная, чтобы разорвать циклы болезней, стать альтернативной для летнего пара и увеличить урожайность зерновых и масличных культур.

В замкнутых экосистемах биосферного типа (например, в ЭкоКосмоДоме) растения являются одним из основных компонентов сохранения естественного природного баланса. Они влияют на поддержание газового состава, равновесия в ассоциациях почвенных организмов, а также на обмен химических элементов и водный баланс. Для стабильного развития культур в классическом земледелии используется большое количество химических удобрений, которые в замкнутой среде применять недопустимо, поскольку это приведёт к нарушению естественных процессов всех природных частей экосистемы. Таким образом, разработка природных стимуляторов роста и развития растений – актуальная сфера в области закрытых экосистем.

В связи с вышеизложенным целью данной работы стал анализ эффективности следующих соединений элиситорного действия: бактериальный триптофан, выделенный из *Pseudomonas aurantiaca*; чистая культура бактерий; химически синтезированный триптофан.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования выбран горох полевой лущильного сорта. Семена проращивали в универсальном почвогрунте до формирования трёх настоящих листьев. Затем проростки переносили в ёмкости, содержащие питательную среду Эллиса с добавлением элиситора. Контролем выступала чистая среда Эллиса.

В качестве стимуляторов использовали составы со следующими условными обозначениями:

1) бактериальный I – бактериальный триптофан, полученный из *Pseudomonas aurantiaca*;

2) бактериальный II – чистая культура бактерий *Pseudomonas aurantiaca*;

3) триптофан – чистая аминокислота.

Для определения влияния элиситоров выбрана концентрация 5×10^{-3} мл/л. Каждый эксперимент проводили в трёхкратной повторности.

Ёмкости с растениями переносили на световые стеллажи с температурой 25 °С, интенсивностью освещения 6000 лк и 14-часовым фотопериодом. Питательная среда добавлялась по мере необходимости. Внесение стимуляторов проходило дважды – на 14-й и 25-й дни вегетации. В таких условиях ёмкости выдерживали на протяжении всего исследования. Спустя семь суток после начала эксперимента регистрировали первые изменения. Измерение высоты растений проводили каждые 4–8 дней. Общее время вегетации составило 36 дней.

Результаты исследования

Все изучаемые элиситоры оказали положительное влияние на рост и развитие растений по сравнению с контролем. В таблице 1 представлены данные замеров высоты стеблей гороха полевого.

В результате воздействия элиситоров наблюдалось увеличение максимального размера растения на 24,6 %: с 44,7 см у контроля до 55,7 см в варианте «бактериальный I». Опыт с триптофаном также продемонстрировал высокие значения – 54 см, что на 20,8 % больше по сравнению с контролем. Существенному ускорению роста вегетативной массы способствовал стимулятор «бактериальный II».

На рисунке 1 представлено влияние элиситоров на накопление сырой и сухой массы побегами гороха. Наибольшие показатели (35,16 и 10,9 г соответственно) получены при добавлении к питательной среде чистой культуры бактерий *Pseudomonas aurantiaca* (вариант «бактериальный II»).

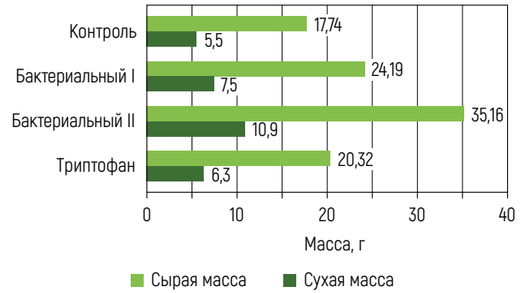


Рисунок 1 – Вегетативная масса исследуемых образцов гороха полевого

При оценке ежесуточного прироста на начальных стадиях эксперимента наибольшая индукция наблюдалась для элиситора «бактериальный I» – 2,6 см/сут.

Таблица 1 – Влияние элиситоров на высоту гороха полевого, см

Вариант эксперимента	День вегетации					
	7-й	14-й	18-й	25-й	28-й	36-й
Контроль						
1	4	12,5	17	18,5	22	34
2	4,3	12,5	20	25	32	50
3	4	15,5	25,5	31	40	50
Средний показатель	4,1	13,5	20,8	24,8	31,3	44,7
Бактериальный I						
1	4	13,5	23,5	28	36	60
2	1,5	9	15,5	18	23,5	40
3	3,1	15,5	29	34	44	67
Средний показатель	2,9	12,7	22,7	26,7	34,5	55,7
Бактериальный II						
1	3	10	19,5	24	31	50
2	3,7	15	26,5	31	39	55
3	2	10,5	21	25	32	47
Средний показатель	2,9	11,8	22,3	26,7	34	50,7
Триптофан						
1	3	11,5	21	26	32	53
2	4,3	16,5	28	34	42	55
3	3,5	14	24	30	37	54
Средний показатель	3,6	14	24,3	30	37	54

Вариативность данных визуализирована на рисунке 2. Исходя из графика прироста, можно судить о том, что в ходе эксперимента все варианты стимуляторов способствовали быстрому росту гороха.

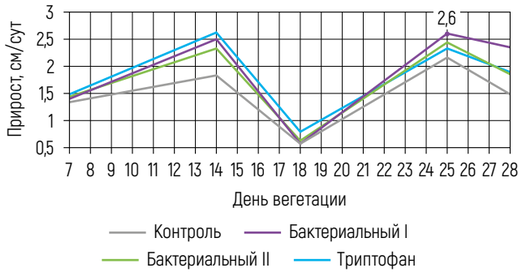


Рисунок 2 – Ежесуточный прирост гороха полевого под влиянием элиситоров

В таблице 2 представлены конечные данные по урожайности культуры.

Основные характеристики горошин и урожайности дают представление о полноте раскрытия потенциала продуктивности культуры под влиянием исследуемых стимуляторов. Отличия в показателях, возможно, связаны с появившейся нагрузкой в виде насекомых-вредителей, из-за чего на ранних этапах были исключены некоторые растения и нарушена общая статистическая значимость. Опыт с элиситором «бактериальный I» позволил получить общую массу горошин 3,432 г, с триптофаном – 1,556 г. Все тестируемые вещества продемонстрировали результаты в 1,1–4,9 раза больше по сравнению с контрольным вариантом.

Присутствует корреляция между значениями массы горошин (таблица 2) и вегетативной массы (рисунок 1). На рисунке 3 представлена выполненность плодов (число семян).

Лучшие показатели по урожайности наблюдаются для вариантов «бактериальный I» и «триптофан». В условиях лабораторного эксперимента сложно достичь максимальной продуктивности и выполненности плодов, однако даже визуально видна кардинальная разница на начальных этапах спелости.

Таблица 2 – Влияние элиситоров на урожайность гороха полевого

Вариант эксперимента	Количество бобов	Количество горошин		Средний диаметр горошины, мм	Общая масса горошин, г
		Нормальные	Недоразвитые		
Контроль					
1 2 3	1 1 1	2 4 2	1 2 4	6	0,581
Сумма	3	8	7		
Бактериальный I					
1 2 3	4 3 4	– 6 9	23 4 19	8	3,432
Сумма	11	15	46		
Бактериальный II					
1 2 3	2 2 –	5 5 –	3 3 –	7,3	1,215
Сумма	4	10	6		
Триптофан					
1 2 3	2 2 –	5 5 –	– 2 –	7,4	1,556
Сумма	4	10	2		

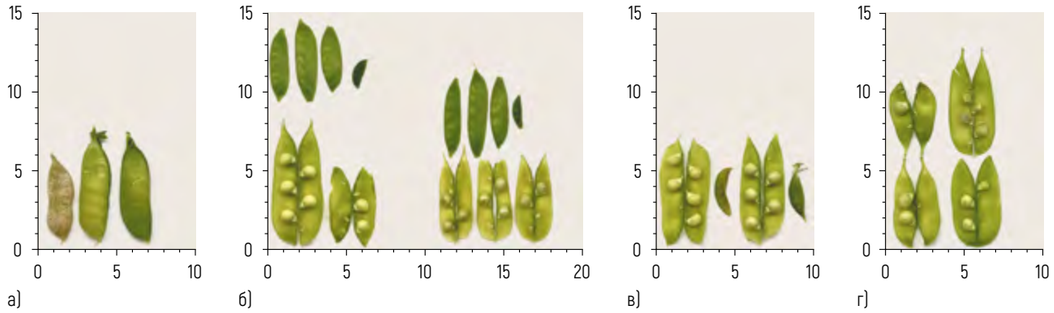


Рисунок 3 – Выполненность бобов гороха полевого: а – контроль; б – бактериальный I; в – бактериальный II; г– триптофан

Заключение

В результате проведённого исследования выявлено, что ростостимулирующим свойством обладают все тестируемые элиситоры. Более высокую индукцию оказывали варианты «бактериальный I» и «триптофан».

Эффективность данных веществ объясняется не только взаимодействием их биогенной части с PRRs-рецепторами клеток растений, активирующими иммунный потенциал организма, но и возможным содержанием вторичных продуктов синтеза элиситоров в виде агрохимических композиций на основе лактата калия, что, вероятно, приводит к получению биологически активных или вспомогательных органических веществ, вызывающих положительный ответ у растения через стимуляцию роста. Среди других причин такой реакции гороха полевого – продуцирование индол-3-уксусной кислоты ростостимулирующими ризобактериями. Последние научные публикации [5–7] говорят о том, что триптофан может регулировать активность биосинтеза ауксинов как спонтанной почвенной микрофлоры, так и индуцируемых ризобактериальных штаммов. Одно из условий гормонального воздействия ризосферной микрофлоры на растение – наличие достаточного количества триптофана в ризосфере. Кроме того, на стимуляцию роста культур влияют количество и колонизирующая активность ризобактерий.

Исследование показало, что при использовании элиситора, полученного из бактериального триптофана, удаётся достичь прибавки гороха полевого в вегетативной массе (на 36 % по сравнению с контролем), а также в урожайности (в 4,9 раза по сравнению с контролем). Следовательно, соединения бактериального и химического триптофана могут применяться в условиях замкнутой экосистемы ЭкоКосмоДома [13] для стимуляции роста и развития растений.

В дальнейшем планируется провести оценку влияния наиболее перспективного варианта «бактериальный I» на другие сельскохозяйственные культуры, а также проанализировать качество получаемой продукции.

Список основных источников

1. *Заяц, В.С. Протекторная способность экзогенных элиситоров из Ganoderma lucidum при индукции солевого стресса у кресс-салата / В.С. Заяц, И.В. Налетов, Е.А. Крюков // Настоящее и будущее биотехнологии растений: материалы междунар. науч. конф., Минск, 24–26 мая 2023 г. / НАН Беларуси, Центр. ботан. сад, Совет ботан. садов стран СНГ при МААН; ред. В.Н. Решетников [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2023. – С. 75.*
2. *Ассоциация агрономически ценных микроорганизмов для улучшения плодородия земель / В.С. Заяц [и др.] // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты: материалы XIII междунар. конф., Минск, 6–9 июня 2023 г. / НАН Беларуси. – Минск: Беларус. навука, 2023. – С. 266–267.*
3. *Patel, H. Elicitors in Plant Tissue Culture / H. Patel, R. Krishnamurthy // Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. – 2013. – Vol. 2, iss. 2. – P. 60–65.*
4. *Effect of L-Tryptophan on Plant Weight and Pod Weight in Chickpea Under Rainfed Conditions / S.H. Abbas [et al.] // Science and Technology Development Journal. – 2013. – Vol. 32, iss. 4. – P. 277–280.*
5. *Pseudomonas aurantiaca SR1: Plant Growth Promoting Traits, Secondary Metabolites and Crop Inoculation Response / M. Rovera [et al.] // Plant–Bacteria Interactions: Strategies and Techniques to Promote Plant Growth /*

eds J. Pichtel, I. Ahmad, S. Hayat. – Weinheim: Wiley-VCH, 2008. – P. 155–163.

6. *Ul Hassan, T. The Stimulatory Effects of L-Tryptophan and Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Soil Health and Physiology of Wheat / T. Ul Hassan, A. Bano // Journal of Soil Science and Plant Nutrition. – 2015. – Vol. 15, iss. 1. – P. 190–201.*
7. *Co-Inoculation with Enterobacter and Rhizobacteria on Yield and Nutrient Uptake by Wheat (Triticum aestivum L.) in the Alluvial Soil Under Indo-Gangetic Plain of India / A. Kumar [et al.] // Journal of Plant Growth Regulation. – 2017. – Vol. 36, iss. 3. – P. 608–617.*
8. *Profiling of Antimicrobial Metabolites of Plant Growth Promoting Pseudomonas spp. Isolated from Different Plant Hosts / I. Shahid [et al.] // 3 Biotech. – 2021. – Vol. 11, iss. 2. – 48.*
9. *Root Colonization and Growth Promotion of Wheat and Maize by Pseudomonas aurantiaca SR1 / S.B. Rosas [et al.] // Soil Biology and Biochemistry. – 2009. – Vol. 41, iss. 9. – P. 1802–1806.*
10. *Bhattacharyya, P.N. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR): Emergence in Agriculture / P.N. Bhattacharyya, D.K. Jha // World Journal of Microbiology and Biotechnology. – 2012. – Vol. 28, iss. 4. – P. 1327–1350.*
11. *Genome Analysis of Plant Growth-Promoting Rhizobacterium Pseudomonas chlororaphis subsp. aurantiaca JD37 and Insights from Comparison of Genomics with Three Pseudomonas Strains / L. Zhang [et al.] // Microbiological research. – 2020. – Vol. 237. – 126483.*
12. *Ahemad, M. Mechanisms and Applications of Plant Growth Promoting Rhizobacteria: Current Perspective / M. Ahemad, M. Kibret // Journal of King Saud University – Science. – 2014. – Vol. 26, iss. 1. – P. 1–20.*
13. *Юницкий, А.Э. Особенности проектирования жилого космического кластера «ЭкоКосмоДом» – миссия, цели, назначение / А.Э. Юницкий // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 51–57.*



УДК 634.1:631.86+629.7

Биохимический состав плодов яблони при использовании эликсира плодородия uTerra

А.Э. Юницкий[1,2]
доктор философии транспорта

И.В. Налетов[2]

В.С. Заяц[2]

К.А. Бойко[2]

[1] ООО «Астроинженерные технологии»,
г. Минск, Беларусь

[2] ЗАО «Струнные технологии»,
г. Минск, Беларусь

Изучено влияние подкормки жидкой органической комплексной uTerra (эликсир плодородия) на биохимический состав растительной продукции, в частности плодов яблони домашней (*Malus domestica*), которая может быть посажена в ЭкоКосмоДоме (ЭКД). Во время эксперимента в садах Крестьянского (фермерского) хозяйства «Юницкого» (г. Марьина Горка, Беларусь) проводился промежуточный контроль за физиологическим состоянием растений.

В статье представлены итоги исследования содержания витамина С, общего количества сахаров в плодах яблони и др. Полученные данные демонстрируют положительное влияние эликсира плодородия uTerra. Аналогичные результаты имеют место и для других плодово-ягодных, овощных, зеленных и иных культур, что говорит об универсальности действия рассматриваемого удобрения. Описана возможность его использования в качестве способа улучшения пищевой ценности растительной продукции и, как следствие, рациона органического питания флоры и фауны, в том числе человека, в условиях замкнутой экосистемы ЭКД биосферного типа.

Ключевые слова:
биохимический состав, замкнутая экосистема, подкормка жидкая органическая комплексная для растений uTerra, ЭкоКосмоДом (ЭКД), эликсир плодородия, яблоня домашняя (Malus domestica).

UDC 634.1:631.86+629.7

Biochemical Composition of Apple Fruits when Using uTerra Fertility Elixir

A. Unitsky[1,2]
Dr. of Philosophy
in Information Technologies
(Transport)

I. Naletov[2]

V. Zayats[2]

K. Boiko[2]

[1] Astroengineering Technologies LLC,
Minsk, Belarus

[2] Unitsky String Technologies Inc.,
Minsk, Belarus

The effect of liquid organic complex fertilizer uTerra (fertility elixir) on the biochemical composition of plant products, in particular fruits of domestic apple tree (*Malus domestica*) which can be grown in the EcoCosmoHouse (ECH), was examined. Throughout the experiment, conducted in the orchards of Unitsky's Farm Enterprise (Maryina Gorka, Belarus), regular monitoring of the plants' physiological state was carried out.

This article presents findings on vitamin C content, total sugars in apple fruits, etc. The data demonstrate a positive impact of the uTerra fertility elixir. Similar beneficial effects were observed in other fruit, berry, vegetable and green crops, which highlights the fertilizer's broad applicability. The study also explores the potential of uTerra as a means to enhance plant productivity and, consequently, the organic nutrition available to flora, fauna and humans within an enclosed biosphere-type ecosystem like ECH.

Keywords:
biochemical composition, domestic apple tree (Malus domestica), EcoCosmoHouse (ECH), enclosed ecosystem, fertility elixir, liquid organic complex plant fertilizer uTerra.

Введение

Современное сельское хозяйство сталкивается с серьёзными проблемами, связанными с необходимостью повышения качества выращиваемых овощей, фруктов, зерновых и других культур. Стремление к увеличению объёмов производства и получению богатого урожая часто приводит к ухудшению питательной ценности, вкуса и сроков хранения продукции. Кроме того, интенсивные технологии агропромышленного комплекса нередко сопряжены с загрязнением окружающей среды и нарушением экологического баланса [1].

В результате применения пестицидов, гербицидов и других агрохимикатов на плодах остаются вредные вещества, представляющие опасность для здоровья населения. Вместе с тем такой подход приводит к деградации почв, снижению биоразнообразия и нарушению естественных циклов в экосистемах. Из-за истощения почв, а также раннего сбора урожая плоды имеют пониженное содержание витаминов, минералов и других важных питательных элементов [2].

В этих условиях увеличивается потребность в разработке и внедрении новых способов, обеспечивающих высокое качество сельскохозяйственной продукции без ущерба для окружающей среды. Нужен переход к более экологичным, устойчивым и щадящим методам выращивания фруктов и овощей.

В настоящей статье особое внимание уделяется инновационной технологии, которая позволяет повысить пищевую ценность растительной продукции. Рассмотрены результаты использования подкормки жидкой органической комплексной для растений uTerra в саду Крестьянского (фермерского) хозяйства «Юницкого» (КФХ «Юницкого», г. Марьина Горка, Беларусь), а также изучен потенциал применения данного эликсира плодородия в качестве экологически чистого удобрения в замкнутой системе ЭкоКосмоДома (ЭКД) [3]. Целью работы является оценка влияния uTerra на биохимический состав плодов яблони домашней (*Malus domestica*).

Материалы и методы исследования

Тестирование эликсира плодородия uTerra проводилось на территории КФХ «Юницкого», где общая площадь садов равна 15 га. Контроль за их физиологическим состоянием осуществлялся ежемесячно. В период вегетации растений произведено четыре обработки садовых культур эликсиром плодородия uTerra. Далее был выполнен ряд лабораторных исследований.

1. Химические анализы. Определяли:

- влажность – по ГОСТ 28268-89;
- зольность – по СТБ 2042-2010;
- pH – по СТБ 17.13.05-36-2015;
- нитраты – по СТБ 17.13.05-28-2014.

2. Микробиологический анализ. Проводили подсчёт колониеобразующих единиц (КОЕ/г) по методу Коха.

3. Биохимические анализы. Определяли:

- общее количество сахаров – колориметрическим методом, основанным на изменении интенсивности окраски раствора глицерата меди при его кипячении с вытяжками;
- содержание витамина С – методом йодометрии с использованием крахмала как индикатора;
- содержание хлорофилла (*a* и *b*) и суммы каротиноидов – методом спектрофотометрии из одной спиртовой вытяжки.

4. Физиологические анализы. Выполняли фенологические наблюдения в течение всего онтогенеза, выявляли фенофазы и стадии развития растений.

5. Анализ жизнеспособности почек. Проводили путём микроскопирования; осмотр осуществляли в бинокулярном микроскопе стерео МС-1 Led (ТМ «Микромед», Россия), увеличение 4х.

Экспериментальная часть

Определение биохимического состава плодов – важная задача как для производителей сельхозпродукции, так и потребителей. Овощи и фрукты считаются ценными источниками витаминов, минералов и других биологически активных веществ, которые играют ключевую роль в поддержании здоровья человека. Однако содержание нутриентов может значительно варьироваться в зависимости от множества факторов: сорта, способа возделывания, условий хранения и транспортировки. Анализ содержания витаминов позволяет производителям выявлять подобные факторы и вовремя принимать меры для оптимизации технологии выращивания [4].

Эффективность применения эликсира плодородия uTerra ранее исследована в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии (БГСХА, г. Горки, Беларусь). Отмечено, что подкормка содействует увеличению количества витамина С (по отношению к контролю, т. е. без обработки) в листьях салата на 23 %, в корнеплоде редиса на 14 %, в плодах томата на 12 % и огурца на 27 %. Кроме того, наблюдалось повышение количества сахаров в томате и огурце, что напрямую влияет на вкусовые качества продукции [5–10].

Эликсир плодородия uTerra изготавливается путём биопроцессинга из реликтового ископаемого сырья (бурый уголь, горючие сланцы, торф), рассыпчатого биогумуса uTerra (инокулянта, сформированного из агрономически ценных микроорганизмов, взятых из мирового Банка почв, созданного в КФХ «Юницкого»), мелассы, мёда, природных элиситоров, морской соли, минеральных и органических элементов питания растений и других комплексных органических и минеральных компонентов.

Удобрение имеет сбалансированный состав макро-, микро- и ультрамикроэлементов, органических соединений и агрономически ценных тысяч видов аэробных и анаэробных почвенных микроорганизмов [11].

В таблице 1 даны результаты визуального контроля за плодовыми деревьями сада КФХ «Юницкого».

Проведён анализ почвы до внесения эликсира плодородия uTerra (08.05.2024) и после четвёртой обработки яблонь (20.06.2024). Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Визуальные наблюдения за садом КФХ «Юницкого»

Период	Выполненная работа	Наблюдения, примечания
Фенофаза II	Осмотр физиологического состояния плодовых деревьев после зимнего периода	Все деревья перезимовали, что свидетельствует о высокой морозоустойчивости сортов. Формирование и развитие почек стабильное (рисунок 1). Взяты почки для проведения гистологического анализа определения жизнеспособности
Фенофаза III	Осмотр физиологического состояния деревьев на наличие дефицита минерального питания, а также на формирование соцветий, обильность цветения	Деревья обильно цветут (рисунок 2а). Цветки не повреждённые. Опадение пустоцвета неактивное, большинство цветков опылённые
Фенофаза IV	Осмотр физиологического состояния деревьев на наличие дефицита минерального питания, а также на выявление патогенной нагрузки; оценка формирования завязей	Формирование плодов стабильное (рисунок 2б). Отобраны образцы листьев для дальнейшего исследования на количество хлорофилла, а также для гистологического анализа
Фенофаза V	Осмотр физиологического состояния деревьев на наличие дефицита минерального питания, а также на выявление патогенной нагрузки; оценка спелости плодов	Формирование плодов стабильное, наступает стадия зрелости. Активные ростовые процессы, интенсивное формирование плодовой древесины и фотосинтетическая продуктивность в значительной степени влияют на урожайность плодовых деревьев

Таблица 2 – Показатели почвы

Дата	Микробиологический показатель, КОЕ/г	pH	Нитраты, мг/100 г	Влажность, %	Зольность, %
08.05.2024	1×10^6	5,6	39,9	16,06	95,4
20.06.2024	2×10^7	6	44,3	18,09	93,5

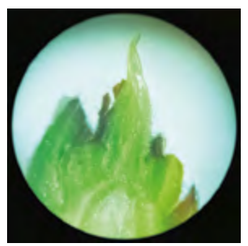


Рисунок 1 – Образцы почек яблони (разрез, увеличение 4х)



а) б)

Рисунок 2 – Сад КФХ «Юницкого»:
а – стадия цветения яблони; б – стадия завязывания плодов яблони

Микробиологический показатель отражает количество агрономически ценных микроорганизмов, обитающих в 1 г почвы. Такая характеристика имеет важное значение для уточнения состояния здоровья почвы, способности аккумулировать макро-, микро- и ультрамикроэлементы, переводить их в доступную для растений форму за счёт метаболических процессов бактерий.

Оптимальное значение pH для садов лежит в диапазоне от 6 до 7, что входит в норму [12]. Количество нитратов показывает доступность азота в почве для растений в данный момент. Уменьшение процентного содержания зольности соответствует увеличению количества органического вещества (на 1,9 %).

Для проведения оценки продуктивности, а также для диагностики физиологического состояния деревьев проведён анализ количества пигментов растений, который позволяет определить фотосинтетическую способность деревьев, их рост и развитие, уровень накопления запасных питательных веществ. Кроме того, с помощью такого исследования можно установить недостаток микроэлементов (магний, железо, молибден, цинк).

Хлорофилл (*a* и *b*) представляет собой основной пигмент, участвующий в фотосинтезе. В его структуру входит ион магния, поэтому количество хлорофилла играет ключевую роль в биосинтезе данного элемента. Вместе с тем в биохимических реакциях синтеза задействуются железо (присутствует в процессе клеточного дыхания, фиксации азота) и цинк (входит в состав ферментов). Соотношение хлорофилла *a* и *b* в растениях варьируется в зависимости от их вида, возраста, условий окружающей среды и других факторов. Обычно оно находится в пределах от 2,5 : 1 до 4,5 : 1 [13].

На рисунке 3 представлен результат определения хлорофилла *a* и *b* в листьях яблони.

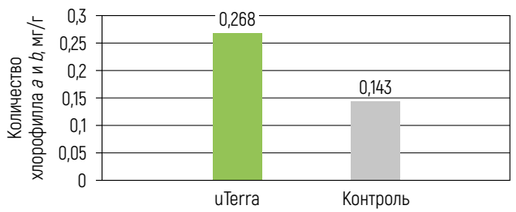


Рисунок 3 – Количество хлорофилла *a* и *b* в листьях яблони

Каротиноиды – группа жирорастворимых пигментов, имеющих важное значение в фотосинтезе и защите растений и придающих окраску их органам: плодам, цветкам и листьям. Каротиноиды, как и хлорофилл, участвуют в улавливании световых волн в ходе фотосинтеза, в особенности в стрессовых условиях (засуха, перепады температур). Одним из основных каротиноидов, встречающихся в растениях, является β-каротин. Измерение содержания этих пигментов наряду с анализом хлорофилла помогает комплексно оценить фотосинтетическую активность и общее физиологическое состояние культур [13]. На рисунке 4 представлено количество каротиноидов в листьях яблони.

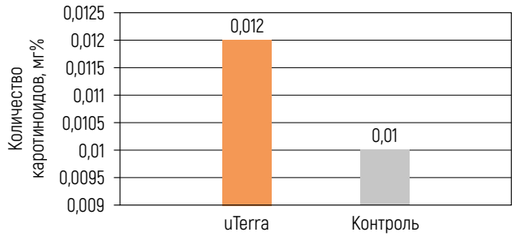


Рисунок 4 – Количество каротиноидов (в пересчёте на β-каротин) в листьях яблони

В ходе изучения содержания хлорофилла и каротиноидов (рисунки 3, 4) определено, что количество пигментов преобладает у деревьев, обработанных эликсиром плодородия uTerra. Это свидетельствует о том, что данная подкормка способствует стимуляции накопления пигментов ввиду наличия в ней необходимых макро- и микроэлементов.

Сила роста деревьев зависит от их физиологического состояния и условий окружающей среды. Быстрорастущие деревья прибавляют по 50–100 см за год. Оценка силы роста яблонь в саду КФХ «Юницкого» представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Оценка силы роста яблонь

Вариант	Длина однолетних побегов, см*	Толщина однолетних побегов, мм*
uTerra	26 ± 2	6 ± 1
Контроль	26 ± 1	5 ± 1

* ± SD (стандартное отклонение).

Отмечался стабильный рост побегов, причём наибольшая сила роста наблюдалась у деревьев, обработанных эликсиром плодородия uTerra.

Определение содержания витамина С в плодах яблони имеет важное научное и практическое значение. Это вещество не синтезируется в организме человека самостоятельно и должно поступать с пищей. Оно обладает высокой антиоксидантной активностью, поддерживает иммунитет, улучшает усвоение железа, участвует в образовании коллагена и выполняет множество других функций. Концентрация витамина С служит индикатором общего качества яблок, поскольку коррелирует с иными показателями, такими как свежесть, зрелость, устойчивость к порче. Его количество в плодах варьирует в зависимости от сорта, стадии зрелости, условий выращивания и хранения. Таким образом, точное установление содержания аскорбиновой кислоты необходимо для определения пищевой ценности и качества яблок [14].

В ходе исследования проанализированы биохимические показатели продукции (таблица 4).

Таблица 4 – Биохимические показатели плодов яблони

Вариант	Количество витамина С, мг/100 г	Общее число сахаров, %
uTerra	15,18	6,9
Контроль	12,34	6,48

Витамина С и сахаров в варианте с применением подкормки оказалось больше на 23 % по сравнению с контролем, что коррелирует с ростом содержания аскорбиновой кислоты, установленным БГСХА в ходе опытов. Синтез витамина С связан с активным протеканием окислительно-восстановительных реакций в клетках растений. Колебания температурных режимов, а также влажность почвы резко сказываются на его количестве. Таким образом, эликсир плодородия uTerra позволяет увеличить устойчивость растений к резко изменяющимся факторам окружающей среды.

Кроме того, стоит отметить, что урожайность яблонь оказалась значительно выше в год внесения подкормки согласно нормам использования и составила:

- в 2023 г. – 55 626 кг яблок;
- в 2024 г. – 61 500 кг яблок.

Заключение

В результате эксперимента установлено, что при обработке яблонь эликсиром плодородия uTerra происходит завязывание (при этом не наблюдается опадения завязей), сад плодовых деревьев активно развивается и готовится к плодоношению (фенофаза V), наступает физиологическая зрелость плодов. Подкормка содействовала быстрому росту побегов, а также образованию их достаточной толщины, которая в свою очередь влияет на доставку макро-, микро- и ультрамикроэлементов от корней к листьям.

В ходе исследования на территории КФХ «Юницкого» отмечалась относительно засушливая погода, и формирование при обработке эликсиром плодородия uTerra более сильных молодых побегов свидетельствует о повышении их устойчивости к засухе. При листовом анализе (включая гистологический и биохимический) не выявлено патологий синтеза хлорофилла, что говорит о достаточном количестве поступающих микроэлементов (магний, марганец, цинк, железо). Количество хлорофилла (*a* и *b*) увеличилось на 87 %, а данный пигмент способствует усилению роста и развития растений, их устойчивости к стрессу, а также положительно влияет на накопление необходимых питательных и биологически активных веществ (витамины, антиоксиданты, белки и др.).

Применение эликсира плодородия uTerra позволило улучшить качество плодов яблони (увеличение витамина С на 23 %, общего сахара на 6,5 %), что сказывается на их питательной ценности для человека. Вместе с тем выросло содержание агрономически ценных микроорганизмов в почве и органического вещества, что говорит об активной переработке целлюлозолитическими микроорганизмами органической части субстрата и, как следствие, повышении плодородия.

Важнейшей задачей земной техногенной цивилизации является улучшение качества жизни и здоровья мирового населения, а также сохранение ресурсов планеты. В замкнутой экосистеме биосферного типа, в частности в ЭКД, требуется поиск средств для поддержания автономности, что подразумевает крупномасштабную работу широкого круга специалистов и организацию соответствующих мероприятий. Один из вопросов, нуждающихся в решении, – обеспечение органической растительной продукцией, которую невозможно получить без биоудобрений, содержащих весь спектр агрономически ценных почвенных микроорганизмов.

Представленные в статье экспериментальные данные позволяют понять необходимость и эффективность применения эликсира плодородия uTerra для выращивания сельскохозяйственной продукции в замкнутой системе.

Комплексный подход, сочетающий технологические, экологические и социальные аспекты, является ключом к успешной реализации концепции ЭКД, ориентированной на улучшение качества жизни и здоровья населения в долгосрочной перспективе.

Список основных источников

1. *Органическое сельское хозяйство Беларуси: перспективы развития: материалы междунар. науч.-практ. конф. / сост. Н.И. Поречина. – Минск: Донарит, 2012. – 104 с.*
2. *Иванцова, Е.А. Экологические проблемы применения пестицидов / Е.А. Иванцова, Ю.В. Калуженкова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2008. – № 1 (9). – С. 41–46.*
3. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.*
4. *Жбанова, Е.В. Витамины плодов и ягод (аналитический обзор литературы) / Е.В. Жбанова // Избранные вопросы современной науки / Е.В. Жбанова, М.Б. Чижкова. – М.: Перо, 2017. – Ч. XXIV, гл. 1. – С. 5–34.*
5. *Биологическая и хозяйственная эффективность удобрения жидкого органического комплексного «юТерра» производства Крестьянского (фермерского) хозяйства «Юницкого» при его применении на редисе (Raphanus sativus) защищённого грунта в 2023 году (первая ротация): отчёт / Белорус. гос. с.-х. акад.; рук. А.Н. Иванистов. – Горки, 2023. – 5 с.*
6. *Биологическая и хозяйственная эффективность удобрения жидкого органического комплексного «юТерра» производства Крестьянского (фермерского) хозяйства «Юницкого» при его применении на редисе (Raphanus sativus) защищённого грунта в 2023 году (вторая ротация): отчёт / Белорус. гос. с.-х. акад.; рук. А.Н. Иванистов. – Горки, 2023. – 5 с.*
7. *Биологическая и хозяйственная эффективность удобрения жидкого органического комплексного «юТерра» производства Крестьянского (фермерского) хозяйства «Юницкого» при его применении на салате листовом защищённого грунта в 2023 году (первая ротация): отчёт / Белорус. гос. с.-х. акад.; рук. А.Н. Иванистов. – Горки, 2023. – 5 с.*
8. *Биологическая и хозяйственная эффективность удобрения жидкого органического комплексного «юТерра» производства Крестьянского (фермерского) хозяйства «Юницкого» при его применении на салате листовом защищённого грунта в 2023 году (вторая ротация): отчёт / Белорус. гос. с.-х. акад.; рук. А.Н. Иванистов. – Горки, 2023. – 5 с.*
9. *Биологическая и хозяйственная эффективность удобрения жидкого органического комплексного «юТерра» производства Крестьянского (фермерского) хозяйства «Юницкого» при его применении на томате защищённого грунта в 2023 году: отчёт / Белорус. гос. с.-х. акад.; рук. А.Н. Иванистов. – Горки, 2023. – 5 с.*
10. *Биологическая и хозяйственная эффективность удобрения жидкого органического комплексного «юТерра» производства Крестьянского (фермерского) хозяйства «Юницкого» при его применении на огурце защищённого грунта в 2023 году: отчёт / Белорус. гос. с.-х. акад.; рук. А.Н. Иванистов. – Горки, 2023. – 5 с.*
11. *Ассоциация агрономически ценных микроорганизмов для улучшения плодородия земель / В.С. Заяц [и др.] // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты: материалы XIII междунар. науч. конф., Минск, 6–9 июня 2023 г. / НАН Беларуси. – Минск: Беларус. навука, 2023. – С. 266–267.*
12. *Попова, В.П. Экологические особенности режимов питания яблони / В.П. Попова, Т.Г. Фоменко // Плодоводство и виноградарство юга России. – 2011. – № 8 (2). – С. 47–55.*
13. *Roca, M. Metabolomics of Chlorophylls and Carotenoids: Analytical Methods and Metabolome-Based Studies / M. Roca, A. Perez-Galvez // Antioxidants. – 2021. – Vol. 10, iss. 10. – P. 1622.*
14. *Никуцэ, А.П. Изменение содержания витамина С в плодах яблони в зависимости от применяемого метода хранения / А.П. Никуцэ // Селекция и сорторазведение садовых культур. – 2019. – Т. 6, № 1. – С. 77–80.*



УДК 613.2:641.1+629.7

Методический подход к определению пищевой ценности продуктов питания

В.В. Корней
Д.Д. Нестерович
Н.С. Зыль
Е.В. Шерешовец

ЗАО «Струнные технологии»,
г. Минск, Беларусь

В последнее время наблюдается тенденция перехода от белково-липидного типа питания к углеводно-липидному, который характеризуется сниженным количеством микронутриентов, необходимых человеку и являющихся биологически активными соединениями. Кроме того, для получения максимальной прибыли стало расширяться производство пищевой продукции, применяющее интенсивные сельскохозяйственные технологии. Такая ситуация приводит к увеличению затрат на выращивание экопродуктов, росту цен на них и, как следствие, возникновению дешёвых аналогов с высокой энергетической ценностью, но с низкими питательными качествами, что негативно сказывается на физическом и психологическом здоровье людей, их иммунитете.

В данной работе авторы рассматривают важный фактор активной жизнедеятельности человека – пищевую ценность современных продуктов с точки зрения наличия в них необходимых биологически активных соединений, а также изучают взаимосвязь макронутриентов с гликемическим индексом, указывающим на скорость расщепления продуктов и превращения их в глюкозу. Полученные результаты нужны для обеспечения здорового, естественного (природного биосферного) питания людей при реализации программы «ЭкоМир» и всех её космических и земных компонентов: линейных городов, в том числе экваториального линейного города; ЭкоКосмоДомов (ЭКД) и ЭКД-Земля; других транспортно-инфраструктурных и индустриально-жилых составляющих программы.

Ключевые слова:
биопроизводство, витамины, макронутриенты, микроэлементы, рацион питания, ультрамикроэлементы, ЭкоКосмоДом (ЭКД).

UDC 613.2:641.1+629.7

Methodical Approach to Determining Nutritional Value of Food Products

V. Karnei
D. Nesterovich
N. Zyl
A. Sharashovets

Unitsky String Technologies Inc.,
Minsk, Belarus

Recently, there has been a noticeable trend shifting from a protein-lipid dietary model to a carbohydrate-lipid one. This shift is characterized by a reduced intake of micronutrients which are essential for human health and serve as biologically active compounds. Additionally, to maximize profits, the food production utilizing intensive agricultural technologies has expanded. This situation leads to increased costs for cultivating eco-products, rising prices and, consequently, the emergence of inexpensive alternatives that have high energy values but low nutritional quality. This negatively impacts the physical and psychological health of individuals and their immune systems.

In this article, the authors examine a crucial factor for active human life – the nutritional value of modern products in terms of the presence of necessary biologically active compounds – and also study the relationship between macronutrients and the glycemic index that indicates the rate at which food is splitting and converting into glucose. The results obtained are essential for ensuring healthy, natural (biospheric) nutrition for individuals as part of the EcoSpace program and all its terrestrial and cosmic components: linear cities, specifically Equatorial Linear City; EcoCosmoHouses (ECH) and ECH-Earth; other transport, infrastructure and industrial-residential components of the program.

Keywords:
bioproduction, diet, EcoCosmoHouse (ECH), macronutrients, microelements, ultramicroelements, vitamins.

Введение

ЭкоКосмоДом (ЭКД) представляет собой неотъемлемую часть жилой и производственной инфраструктуры орбитального индустриального комплекса – космического индустриального ожерелья «Орбита» (КИО «Орбита»). При этом он является замкнутой экосистемой, в которой все жители должны получать сбалансированное, полноценное питание [1].

В современных условиях при промышленном производстве продуктов питания их пищевая ценность уменьшается из-за многих факторов. Применение пестицидов, агрохимикатов, антибиотиков способствует повышению эффективности аграрной отрасли, но во многих случаях ухудшает качество продукции. Кроме того, наблюдается снижение концентрации микронутриентов в пище и отмечается загрязнение продуктов питания используемыми химикатами. Неправильное хранение сырья и глубокая переработка продукции, обеспечивающие удовлетворительные логистические параметры, также негативно влияют на качество продуктов. В ЭКД планируется организация культуры аграрного производства на основе органического сельского хозяйства с задействованием биоудобрений, что поможет избежать вышеуказанных недостатков и логистических издержек.

Здоровое питание базируется на продуктах, которые соответствуют физиологическим потребностям организма, поддерживают его оптимальное развитие и жизнедеятельность, направлены на профилактику заболеваний [2, 3]. Разнообразие овощей и фруктов в рационе обеспечивает широкий спектр питательных веществ, необходимых для здоровья человека. Однако пищевая ценность продуктов может варьироваться в зависимости от их региона выращивания и технологии приготовления.

Для информирования потребителей, а также для поддержки производителей и поставщиков продуктов питания разработан коэффициент полезности пищевой ценности овощей и фруктов, позволяющий людям анализировать питательную значимость растительной продукции и принимать более обоснованные решения при выборе своего рациона.

Пищевая ценность отражает полезные для организма человека свойства продуктов. Основные её компоненты – макронутриенты (белки, жиры, углеводы), витамины, минералы, антиоксиданты и пищевые волокна [4, 5]. Каждый из них играет особую роль в поддержании физиологических функций организма. Помимо этого, необходимо учитывать гликемический индекс (ГИ), который определяет скорость попадания глюкозы в кровь в результате расщепления углеводов в организме человека по сравнению с чистой глюкозой.

В ЭКД правильное питание будет иметь первостепенное значение, поскольку оно обуславливает долголетие и стабильное психоэмоциональное состояние его жителей [6]. Соответственно, важно проанализировать и обозначить критерии ценности пищевых продуктов для максимально здоровой и полноценной жизни в ЭКД, что и является целью настоящей работы.

Нутриентный состав продуктов и его влияние на качество пищи

Здоровье человека представляет собой активный процесс поддержания и улучшения физического и психического благополучия, сохранения высокой работоспособности и социальной активности на протяжении всей жизни. Всемирная организация здравоохранения определяет здоровье не только как отсутствие болезней или физических недостатков, но и как полное благополучие на физическом, психическом и социальном уровнях. В этом смысле данное понятие рассматривается в качестве динамического состояния, позволяющего индивидууму выполнять свои видовые функции с минимальными затратами биологических ресурсов. Адаптационный потенциал человека является показателем его возможности поддерживать оптимальную жизнедеятельность даже в неблагоприятных условиях окружающей среды [7]. Таким образом, при оценке здоровья правильнее говорить не о соотношении патологии и нормы, а о способности человека выполнять свои биологические и социальные функции.

Диетологи используют различные шкалы пищевой ценности для создания индивидуальных планов питания [8]. Например, лицам, которые страдают диабетом, рекомендуется отдавать предпочтение продуктам, имеющим низкий или средний ГИ (менее 55). Подобное ограничение поможет им избежать резких скачков уровня сахара в крови, а наполнение дневного рациона блюдами, содержащими ценные витамины и минералы, будет содействовать общему укреплению здоровья. В то же время спортсменам для быстрого восстановления энергии после интенсивных тренировок предлагаются продукты с высоким ГИ (более 70).

Детальный анализ пищевой продукции также позволяет учитывать личные предпочтения и потребности, что обеспечивает точный и персонализированный подход к питанию. Следовательно, обоснованный выбор продуктов способствует осознанному пониманию их влияния на здоровье, а значит, грамотному составлению рациона, что важно для достижения целей в области здоровья, физического и психического благополучия.

Пищевые продукты включают в себя многочисленные химические вещества, которые для удобства изучения можно классифицировать по содержанию различных питательных веществ, а также физиологическим и биохимическим свойствам. Одна из таких классификаций [9] предполагает две категории пищевых веществ: нутриенты и непищевые компоненты. Нутриенты делятся на макронутриенты (белки, жиры, углеводы) и микронутриенты (витамины и витаминоподобные вещества, а также минеральные вещества (макро-, микро- и ультрамикроэлементы) и др.).

Макронутриенты

На рисунке 1 представлена классификация макронутриентов – основных пищевых веществ, необходимых человеку ежедневно в относительно больших количествах.

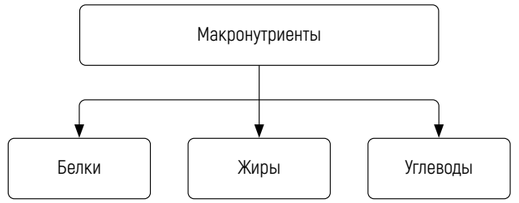


Рисунок 1 – Классификация макронутриентов

Белки считаются компонентом пищи, на который обращают особое внимание при выборе рациона питания. Они выполняют ряд функций (рисунок 2) и представляют собой химические полимеры, состоящие из аминокислот. Разнообразие белков обусловлено 20 аминокислотами, которые синтезируются организмом (заменимые) или поступают с пищей (незаменимые). Структура белков включает в себя не только первичную, но и вторичную, третичную и четвертичную последовательности аминокислот, где описывается пространственное расположение этих элементов.

Ценность белков для организма определяется наличием незаменимых аминокислот, их соотношением с заменимыми аминокислотами и степенью усвояемости. Так, белки животного происхождения усваиваются на 60–90 %, а растительные – на 40–60 %.

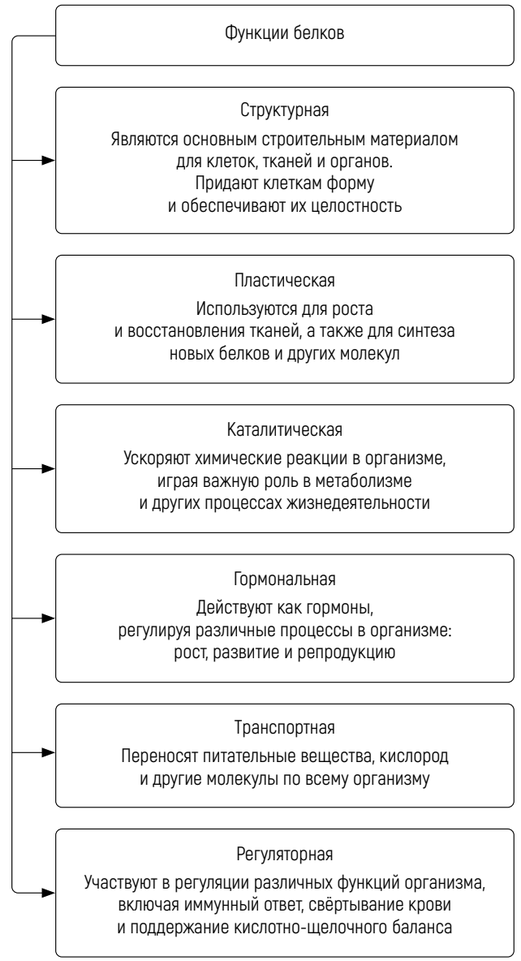


Рисунок 2 – Функции белков

Существует классификация белков по их биологической ценности:

- полноценные (биологически ценные) – содержат все незаменимые аминокислоты;
- неполноценные – отсутствует хотя бы одна из незаменимых аминокислот.

В таблице 1 представлена общая характеристика белков животного и растительного происхождения [10].

Белок составляет около 20 % массы сухой клетки и является основным строительным материалом для организма, выполняя пластическую функцию. Кроме того, белки могут служить источником энергии, обеспечивая до 12 % суточной потребности организма. Средняя суточная норма белка для взрослого человека – 0,8–1,5 г/кг массы тела; при интенсивных физических нагрузках – 2–4 г/кг. Окисление 1 г белка высвобождает около 4 ккал энергии [11].

Усвояемость белков зависит от способа приготовления пищи. Оптимальная температура для сохранения их пользы – до 76 °С (более высокая усиливает денатурацию белка, снижая его усвояемость) [12, 13].

Потребность организма в белках возрастает при интенсивных физических и умственных нагрузках, беременности, инфекционных заболеваниях и авитаминозах.

Жиры являются значимой частью питания человека, поскольку выполняют ряд жизненно важных функций (рисунок 3).

Жирные кислоты, входящие в состав жиров, делятся на насыщенные и ненасыщенные. Насыщенные жирные кислоты могут частично синтезироваться в организме и называются заменимыми. Они содержатся преимущественно в продуктах животного происхождения (мясо, сливочное масло и др.). Ненасыщенные жирные кислоты не синтезируются в организме человека и поэтому являются незаменимыми. Они делятся на мононенасыщенные и полиненасыщенные. Мононенасыщенные жирные кислоты встречаются, например, в оливковом масле и авокадо, а полиненасыщенные – в растительных маслах (подсолнечное, кукурузное, льняное) и жирной рыбе.



Рисунок 3 – Функции жиров

Биологическая ценность жиров определяется содержанием в них незаменимых жирных кислот, а также их перевариваемостью и усвояемостью в желудочно-кишечном тракте [14].

Таблица 1 – Общая характеристика белков

Характеристика	Полноценные белки	Неполноценные белки
Химическая структура	Молекулы, состоящие из 20 аминокислот	Молекулы, состоящие из менее чем 20 аминокислот
Источники	Продукты животного происхождения: мясо, рыба, яйца, молочные продукты	Продукты растительного происхождения: бобовые, злаки, орехи
Усвояемость организмом	Высокая	Умеренная
Основные функции	Строительный материал для тканей; действуют как гормоны; выступают в качестве ферментов	Источник энергии; выполняют некоторые структурные функции
Суточная потребность для взрослого	0,8–1,5 г/кг массы тела	–

В таблице 2 приведена общая характеристика жиров животного и растительного происхождения [15].

Взрослым рекомендуется ежедневное потребление жиров в количестве 50–100 г. Эта норма включает не только маргарины и видимые кулинарные жиры, но и скрытые, содержащиеся в продуктах животного происхождения (мясо, рыба, молочные продукты).

Чрезмерное ограничение жиров может привести к проблемам с иммунитетом, нарушению работы нервной системы и сокращению продолжительности жизни. Однако их переизбыток также вреден, потому что вызывает атеросклероз, ожирение и нарушение обмена веществ.

Существует три основных типа жиров: насыщенные, мононенасыщенные и полиненасыщенные. Особенно важны для здоровья полиненасыщенные жиры, присутствующие в орехах, семенах и рыбе.

Жиры могут быть животного или растительного происхождения. Их оптимальный уровень в рационе составляет 20–35 % от общей потребляемой калорийности пищи.

Необходимо поддерживать баланс между различными типами жиров, поскольку каждый из них выполняет определённые функции. Например, омега-3 жирные кислоты обладают противовоспалительным эффектом, в то время как омега-6 жирные кислоты, содержащиеся в подсолнечном масле, способствуют развитию воспалительных процессов в организме.

Углеводы представляют собой важные питательные вещества, которые выполняют ряд функций в организме человека (рисунок 4). Данные вещества незаменимы для поддержания здоровья, физического и психического благополучия. Они обеспечивают энергией, влияют на рост и развитие, а также участвуют в регуляции различных функций организма.



Рисунок 4 – Функции углеводов

В таблице 3 приведена общая характеристика углеводов [10].

Среди этих веществ особое место занимает глюкоза, так как она входит в состав большого количества полисахаридов. Данный моносахарид используется мозгом для получения энергии, при этом единственной альтернативой являются кетоновые тела, образующиеся при низкоуглеводной диете. Для запасания энергии в организме вырабатывается полимер глюкозы – гликоген, единственный углевод животного происхождения. Он накапливается главным образом в печени животных (в том числе птиц), рыб, а также в мышцах.

Таблица 2 – Общая характеристика жиров

Характеристика	Насыщенные жиры	Ненасыщенные жиры
Источники	Продукты животного происхождения (мясо, сало, молочные продукты), кокосовое и пальмовое масло	Растительное масло (оливковое, подсолнечное, рапсовое), орехи, авокадо, рыба
Влияние на здоровье	Повышают риск развития сердечно-сосудистых заболеваний при избыточном потреблении	Снижают риск развития сердечно-сосудистых заболеваний при умеренном потреблении
Основные функции	Источник энергии, строительный материал для тканей клеточных мембран, способствуют усвояемости жирорастворимых витаминов	Источник энергии, имеют противовоспалительный эффект, регулируют обмен веществ
Суточная потребность для взрослого	Не более 20–25 г	50–100 г

Таблица 3 – Общая характеристика углеводов

Характеристика	Моносахариды (глюкоза, фруктоза)	Дисахариды (сахароза, лактоза)	Полисахариды (крахмал, гликоген)
Химическая структура	Простые сахара, включают одну молекулу	Состоят из двух молекул моносахаридов	Полимерная: длинные цепочки (линейные или разветвлённые)
Источники	Сладкие овощи, фрукты, мёд, ягоды	Фрукты, мёд, сахар, молочные продукты	Зерновые и псевдозерновые продукты, макароны, хлеб, картофель
Усвояемость организмом	Быстрая	Умеренная	Замедленная
Основные функции	Быстрое обеспечение энергией	Источник энергии, улучшение вкуса пищи	Длительный источник энергии, являются структурными компонентами клеток
Суточная потребность для взрослого	50–100 г	20–50 г	200–400 г

Переваривание пищи, богатой углеводами (олигосахариды и крахмал), начинается в ротовой полости под действием ферментов слюны (α-амилаза и α-глюкозидаза). Окончательное расщепление полисахаридов и всасывание образовавшихся мономеров происходит в кишечнике. Моносахара всасываются как в ротовой полости, так и в нижележащих отделах желудочно-кишечного тракта. Именно поэтому с целью повышения усвояемости многие диетические рекомендации предполагают включение фруктов, особенно сладких, в отдельные приёмы пищи, а также разделение крахмалистой и белковой пищи [16, 17].

Кроме того, из углеводов необходимо отметить олигосахарид коровьего молока – лактозу (содержание до 5 %). У некоторых людей с возрастом желудочно-кишечный тракт перестаёт вырабатывать лактазу – фермент, который расщепляет молочный сахар. Такие люди не переносят молоко, но могут пить кефир, где этот сахар превращён в молочную кислоту кефирными дрожжами.

Из усвояемых полисахаридов особое место занимает крахмал, на его долю приходится до 80 % потребления углеводов в мире.

Существует класс углеводов, которые не перевариваются организмом, но выполняют важные функции (например, целлюлоза, пектиновые вещества, лигнин и др.). Хотя клетчатка в тонком кишечнике практически не усваивается, нормальный процесс пищеварения без неё невозможен. Она и другие балластные вещества создают благоприятные условия для продвижения пищи по желудочно-кишечному тракту, способствуют развитию необходимой микрофлоры в кишечнике, а также выведению из организма холестерина. Набухающие в воде полисахариды (клетчатка, пектины) увеличиваются в объёме, тем самым снижая аппетит; могут связывать в продуктах питания микро- и ультрамикроэлементы (кальций, магний, фосфор, железо, цинк, медь и др.) и высвобождать их в процессе пищеварения.

Оптимальное содержание балластных веществ в суточном рационе составляет около 1–2 % (25 г); их источники – фрукты, овощи, ягоды, листовая зелень, хлеб грубого помола.

Недостаток углеводов в ежедневном меню вызывает серьёзные физиологические изменения: функциональное расстройство центральной нервной системы, ослабление умственной деятельности, атрофию мышц.

Избыток углеводов, особенно легкоусвояемых, – одна из причин нарушения обмена веществ, что ведёт к ожирению, сахарному диабету и другим заболеваниям.

Несмотря на то что клетчатка, являясь частью сложных углеводов, не переваривается и не усваивается организмом человека, она играет важную роль в поддержании здоровья пищеварительной системы, усиливая перистальтику кишечника и оптимизируя процесс пищеварения. Кроме того, клетчатка помогает регулировать уровень сахара в крови.

Единственный источник данного сложного углевода – растительные продукты, такие как овощи и зерновые. В некоторых семенах, например чиа, содержится водонерастворимая клетчатка, обладающая способностью поглощать влагу и увеличиваться в объёме. Оказавшись в желудке, такая клетчатка трансформируется в пребиотики, которые служат питанием для полезных бактерий, поддерживающих микрофлору кишечника.

Микронутриенты

Представляют собой витамины и витаминоподобные вещества, а также минеральные вещества (макро-, микро- и ультрамикроэлементы) и др. Данные соединения, как и макронутриенты, необходимы организму, поскольку их недостаток негативно влияет на здоровье человека, что выяснилось относительно недавно. Суточная доза их потребления составляет от десятков миллиграммов до микрограммов.

Витамины – незаменимые органические соединения, которые играют жизненно важную роль в бесперебойной работе организма. Они выступают в качестве кофакторов для ферментов и гормонов, оптимизируя обмен веществ, повышая когнитивные и физические способности, а также усиливая выносливость организма и устойчивость к заболеваниям.

Большая часть витаминов не производится в организме человека, поэтому их нужно регулярно получать с пищей. Определённые витамины накапливаются в тканях, создавая резерв, который используется при необходимости. Многие из них синтезируются микробиотой кишечника, что позволяет восполнять их запасы даже при отсутствии в рационе.

По химическим свойствам витамины классифицируются на водорастворимые, жирорастворимые и витаминоподобные вещества. К водорастворимым относятся некоторые витамины группы B (B_1, B_2, B_6, B_9, B_{12}), витамины PP (B_3) и C. Жирорастворимые витамины – A, D, E, K. Витаминоподобные вещества – витамины B_{15}, B_4, B_8, P и др.

Недостаток любого из них вызывает дисбаланс обмена веществ, который на ранних стадиях может не проявляться внешне. Со временем развивающийся гиповитаминоз (снижение уровня витаминов в организме) способен привести к серьёзным патологиям, известным как авитаминозы. Такие изменения влекут за собой ослабление защитных сил организма, что делает его более восприимчивым к негативным факторам окружающей среды [18].

Минеральные вещества – незначительная часть в составе пищевых продуктов, как правило, 0,7–1,5 %. В отличие от макронутриентов они не обладают энергетической ценностью, однако важны для поддержания здоровья и построения клеток организма человека.

Минералы выполняют широкий спектр функций: поддерживают осмотическое давление, необходимое для нормальной работы клеток и тканей; являются компонентами гемоглобина, гормонов и ферментов; служат строительным материалом для костей и зубов. В форме ионов участвуют в передаче нервных сигналов, свёртывании крови и других физиологических процессах.

Минералы делятся на две категории: макроэлементы и микроэлементы. Макроэлементы (кальций (Ca), фосфор (P), магний (Mg), натрий (Na), калий (K), хлор (Cl) и сера (S)) присутствуют в продуктах питания в относительно больших количествах. Микроэлементы (железо (Fe), цинк (Zn), фтор (F) и медь (Cu)) содержатся в меньших количествах [19]. В таблице 4 описаны основные источники и функции минеральных веществ [20].

Таблица 4 – Основные источники и функции минеральных веществ

Минерал	Основные источники	Основные функции
Ca	Молочные продукты, рыба, злаки, орехи, фрукты	Составляет основу костной ткани, влияет на процессы нервно-мышечной и сердечно-сосудистой систем
P	Молоко, рыба, хлеб	Входит в состав белков, костной ткани, участвует в обмене энергии
Mg	Орехи, овёс, ячмень, фасоль, овощи, листовая зелень	Участвует в формировании костей, регуляции нервной ткани, а также в обмене углеводов и энергии
Na	Поваренная соль, свежие овощи	Регулирует кровяное давление, водный обмен, активизирует пищеварительные ферменты
K	Сухофрукты, горох, фасоль, виноград	Регулирует кислотно-щелочное равновесие крови, участвует в передаче нервных импульсов, активизирует ряд ферментов
Cl	Поваренная соль, хлеб	Участвует в образовании желудочного сока, плазмы крови, активизирует ряд ферментов
S	Белковые пищевые продукты	Входит в состав аминокислот, гормонов и витаминов
Fe	Мясо, злаки, бобовые, клюква, земляника, абрикосы	Участвует в образовании гемоглобина, некоторых ферментов
Zn	Бобовые, злаки, дрожжи, печень животных, в том числе птиц	Входит в состав гормона инсулина, участвует в углеводном обмене

Биогенные ультрамикроэлементы – химические соединения, встречающиеся в живых организмах в чрезвычайно малых количествах (от микрограммов до наногаммов).

Ультрамикроэлементы (йод (I), хром (Cr), молибден (Mo), кобальт (Co), селен (Se), германий (Ge), золото (Au) и др.) выполняют жизненно важные функции в организме человека: участвуют в формировании костей; регулируют секрецию инсулина; влияют на работу мозга, гормонов и нейротрансмиттеров; являются компонентами белков и ферментов. В той или иной степени биогенными веществами считаются более 80 элементов таблицы Менделеева, находящихся в природе; их функции требуют дальнейшего изучения.

Количество этих элементов, необходимое для поддержания здоровья, ничтожно мало, но польза, которую они приносят, неоценима. Кроме того, наличие одних ультрамикроэлементов способствует усвояемости других соединений [21, 22].

Комплексный анализ пищевой ценности продуктов питания

В таблицах 5 и 6 представлены данные о содержании основных нутриентов и значении ГИ в овощах и фруктах, типичных для умеренной и тропической климатических зон как наиболее подходящих для ведения сельского хозяйства.

Необходимо отметить, что показатели могут варьироваться в зависимости от сорта, степени зрелости и способа термической обработки плодов. Данные в таблицах 5 и 6 приведены в качестве ориентировочных значений.

Комплексный анализ пищевой ценности важен для понимания обширности качественных характеристик продуктов питания, которые являются строительным материалом для организма человека. Классификация нутриентов должна расширяться и уточняться для более полного определения влияния продуктов на здоровье с целью подбора оптимального рациона, а также для организации производства фермерской продукции при помощи органического земледелия.

В 2023–2024 гг. в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии совместно с ЗАО «Струнные технологии» проведены испытания эликсира плодородия uTerra на следующих культурах: редис, салат, томат, огурец [23–28]. Результаты опытов, поставленных в защищённом грунте, показали, что применение данного биоудобрения в среднем повышает в плодах содержание витамина С на 20 %, растворимых углеводов на 22 %, важных биогенных макроэлементов на 12 %. В ходе лабораторных исследований также отмечено положительное действие uTerra на вкус и запах овощей. В дальнейшем планируется более глубокое изучение влияния биоудобрений на количество ультрамикроэлементов в растительной продукции.

Таблица 5 – Содержание основных нутриентов и значение ГИ в плодах, выращенных в умеренной климатической зоне

Плоды	Жиры, г/100 г	Белки, г/100 г	Углеводы, г/100 г	Пищевые волокна, г/100 г	Витамины	Минералы	Антиоксиданты	ГИ
Яблоко	0,2	0,3	13,8	3	C, E, B_6	K, Mg, Fe	Флавоноиды	40
Груша	0,1	0,4	15,5	3,1	A, C, E	K, Ca, Mg, Fe	Флавоноиды	38
Вишня	0,2	1	12,8	2,1	A, C, B_6	K, Mg, Ca, Fe	Антоцианы	22
Слива	0,3	0,7	11,4	1,4	C, K, A	K, Mg, Fe, Ca	Флавоноиды	29
Клубника	0,3	0,7	7,7	2	C, K, B_6	Mn, Mg, K, Ca	Антоцианы	40
Картофель	0,1	2	17	2,4	C, B_6	K, Mg, Fe, P	Каротиноиды	80
Морковь	0,2	0,9	9,6	2,8	C, A, K, B_6	K, Ca, Mg, Fe	Каротиноиды	47
Свёкла	0,1	1,6	9,6	2,8	C, B_9, B_6	K, Mn, Fe, Mg	Полифенолы, беталаины	64
Капуста белокочанная	0,1	1,1	5,8	2,5	B_9, C, B_6	K, Ca, Mg, Fe	Глюкозинолаты, каротиноиды	45

Таблица 6 – Содержание основных нутриентов и значение ГИ в плодах, выращенных в тропической климатической зоне

Плоды	Жиры, г/100 г	Белки, г/100 г	Углеводы, г/100 г	Пищевые волокна, г/100 г	Витамины	Минералы	Антиоксиданты	ГИ
Манго	0,4	0,8	16,8	1,6	A, C, B_6	K, Mg, Ca, Fe	Каротиноиды	51
Папайя	0,3	0,5	11,8	1,7	A, C, B_6	K, Mg, Ca, Fe	Каротиноиды	60
Банан	0,3	1,1	22,8	2,6	C, B_6	K, Mg	Флавоноиды	51
Ананас	0,1	0,5	13,1	1,4	C, B_6	K, Mg, Ca	Флавоноиды	59
Авокадо	14,7	4,6	8,5	6,7	E, K, B_5, B_6, B_9, C	K, Mg, Ca, Fe	Каротиноиды	15
Киви	0,5	1,1	14,7	3	C, E, K	K, Mg, Ca, Fe	Флавоноиды	52
Питахайя	0,4	3	11	3	C, B_1, B_2, B_3	K, Mg	Флавоноиды	48
Гуава	0,6	2,6	12,2	5,4	A, C, E, B_9	K, Mg, Ca, Fe	Каротиноиды	78
Маракуйя	0,7	2,2	12,1	10,4	A, C, B_6	K, Mg	Каротиноиды	30

Факторы, негативно влияющие на продукты питания в современных условиях

Интенсивные методы ведения сельского хозяйства

Чрезмерное использование пестицидов и гербицидов приводит к загрязнению продуктов питания химическими веществами. Кроме того, задействование синтетических удобрений может повлечь истощение почвы и снижение питательной ценности урожая.

Интенсивное животноводство становится причиной ухудшения состояния воды и почвы, куда попадают отходы жизнедеятельности животных, а также антибиотики, которые активно применяются в сельском хозяйстве.

Промышленная переработка

Многие современные продукты питания подвергаются высокой степени переработки, что может привести к потере питательных веществ и чрезмерному содержанию насыщенных жиров, сахара и соли. Негативное влияние на здоровье оказывают искусственные добавки (консерванты, красители, ароматизаторы).

Загрязнение окружающей среды

Загрязнение воздуха, воды и почвы провоцирует накопление токсинов в продуктах питания. Тяжёлые металлы (свинец, ртуть) могут обнаруживаться в рыбе и морепродуктах. Массовое использование пластика также имеет негативные последствия, поскольку мелкие кусочки этого материала попадают в пищевую цепочку.

Изменение климата

Изменение климата влияет на урожайность, а также на питательную ценность и безопасность продуктов питания. Экстремальные погодные явления (засуха, наводнение, аномальная температура и др.) способны повредить посевы и нарушить поставки продуктов питания.

Потребительские привычки

Потребительские привычки (использование в ежедневном рационе блюд с высоким содержанием обработанных пищевых продуктов, сахара и нездоровых жиров) могут негативно отражаться на общем состоянии здоровья и повышать риск развития хронических заболеваний. Несоблюдение правил хранения и неправильное приготовление пищи приводят к размножению патогенных микроорганизмов и её порче.

Способы повышения пищевой ценности продуктов

Исключение негативного влияния во время приготовления

Применение определённых способов приготовления пищи позволит получить максимально вкусные и здоровые блюда. В [12] доказывается преимущество технологии су-вид: именно с помощью данного кулинарного метода удалось добиться оптимальных вкусовых качеств курицы, овощей, что подтвердили результаты дегустации.

Кроме того, считается полезным приготовление на пару, которое сохраняет до 90 % питательных веществ, а также тушение и запекание при низкой температуре (до 150 °C), минимизирующие потери витаминов и минералов. Следует исключить жарку во фритюре и на сильном огне, так как это разрушает питательные вещества и образует вредные соединения.

Ещё одна возможная технология производства качественных блюд без потери вкуса и негативного влияния на окружающую среду – приготовление пищи в инертной атмосфере. В качестве инертного газа могут быть использованы азот и углекислый газ, которые уже применяются при упаковке продуктов. Технология потребует создания посуды, оснащённой дополнительными системами подачи и отвода газа, а также фильтрации отходящих газов от влаги, жиров и др. Ввиду отсутствия кислорода при термическом воздействии сохранится большее количество чувствительных к окислителям веществ, снизятся выбросы в рабочую зону окислённых соединений, не образуются канцерогены.

Использование фермерской продукции

Из-за интенсивного земледелия, наблюдаемого в настоящее время, минеральный состав почв существенно ухудшился. Плодородие часто достигается за счёт внесения всего трёх основных элементов: азота, фосфора и калия. При этом с урожаем из почвы выносятся все биогенные элементы (а их около 80), что негативно сказывается на качестве сельскохозяйственной продукции.

Применение инновационных органических удобрений линейки uTerra, как было установлено в ходе лабораторных испытаний, достоверно повышает содержание витаминов и минералов в растениях [23–28]. Сельскохозяйственные культуры, выращенные на землях, богатых органикой и имеющих широкий спектр агрономически ценных почвенных микроорганизмов, включают больше витаминов, минералов и антиоксидантов. Наличие в составе необходимых нутриентов улучшает вкусовые качества и лёжкость продуктов, что делает их не только более востребованными, но и экономически целесообразными.

Составление рациона с учётом личных особенностей

При создании сбалансированного рациона питания следует учитывать индивидуальные факторы, такие как возраст, пол, уровень физической активности и общее состояние здоровья. Перед использованием некоторых продуктов (например, копальхена или сюрстрёмминга) нужна консультация с врачом или диетологом. Кроме того, рекомендуется получить профессиональную оценку потребности в питательных веществах.

Независимо от выбранного плана питания, важно включать в рацион продукты из всех основных пищевых групп. Это гарантирует обеспечение организма человека необходимыми витаминами, минералами и другими питательными веществами.

Применение упаковочных экоматериалов

Первые упаковочные материалы были по определению экологичными и натуральными. В ходе развития технологий человечество перешло к более удобным с точки зрения производства и применения материалам, которые тем не менее представляют опасность для окружающей среды (ввиду образования микропластика) и могут негативно влиять на качество упаковываемой продукции.

Замена пластика, фольги, различных видов окрашенного картона на экоупаковку из целлюлозы, биопластика и других аналогичных материалов поможет сохранить вкус продуктов питания, а также упростить утилизацию упаковочных отходов. В некоторых случаях предлагается использовать съедобную упаковку [29].

Разработка коэффициента полезности пищевых продуктов

Цель настоящей работы – объединить данные о содержании витаминов, минералов, клетчатки, антиоксидантов и макронутриентов, имеющихся в овощах и фруктах, с показателем ГИ и провести комплексную оценку их пищевой ценности.

Учитывая не только питательный состав продуктов, но и их влияние на уровень сахара в крови, можно получить информацию о скорости и лёгкости усвояемости этих веществ. Такие сведения помогут людям ориентироваться в выборе продуктов питания в соответствии с индивидуальными потребностями, будь то спортивные тренировки, диеты или оздоровление организма.

Известная система Nutri-Score (маркировка пищевой ценности, включающая в себя пятиступенчатую цветную шкалу от A до E, которая наносится на лицевую сторону упаковки пищевого продукта и дополняет уже существующие обязательные элементы маркировки, в частности таблицу пищевой ценности) разработана С. Херкбергом при участии учёных из Соединённого Королевства, Франции и Бельгии. В её основе лежит анализ соотношения полезных и вредных веществ в расчёте на 100 г продукта. Полезны фрукты, овощи, орехи, белки, пищевые волокна и антиоксиданты. Вредными считаются сахар, жиры, насыщенные жирные кислоты, натрий, а также высококалорийные продукты [30]. Данная оценка является наглядной, но достаточно неоднозначной, поскольку к вредным отнесены важные компоненты пищи.

Для того чтобы рассчитать коэффициент полезности овощей и фруктов, авторы настоящей статьи предлагают методику, которая отличается от существующих: в ней учитывается ГИ и оценивается влияние полного спектра нутриентов, а не какого-то ограниченного количества их классов.

Поскольку на данный момент недостаточно информации обо всех нутриентах, то для полного комплексного формирования индекса полезности ценные компоненты продуктов суммируются согласно классу, к которому они относятся (макронутриенты – в граммах, микроэлементы – в миллиграммах и т. д.).

Для расчёта коэффициента полезности каждого продукта (овоща или фрукта) использовались следующие показатели:

1) суммарное содержание полезных нутриентов:

- витаминов (A, C, E, группы B и др.);
- минералов (кальций, магний, железо, калий и др.);
- пищевых волокон;
- антиоксидантов;
- белков, жиров и углеводов;

2) ГИ.

Авторами суммированы вышеуказанные показатели в один интегральный балл «Содержание полезных нутриентов», куда будут добавляться составляющие, значения которых начинаются от микрограммов (при учёте ультрамикроэлементов). Таким образом, при развёрнутом анализе можно учесть количество всех необходимых элементов, даже тех, биологическая роль которых до конца не изучена.

Для расчёта коэффициента полезности взяты справочные данные о пищевой ценности различных овощей и фруктов и использована следующая формула:

$$\text{Коэффициент полезности} = \text{содержание полезных нутриентов} / \text{ГИ}.$$

В качестве примера рассмотрим расчёт коэффициента полезности яблока.

Исходные данные содержания полезных нутриентов у этого фрукта (на 100 г):

- витамины: C – 12 мг, E – 0,4 мг, B_6 – 0,1 мг;
- минералы: калий – 100 мг, магний – 20 мг, железо – 0,2 мг;
- пищевые волокна: 3 г;
- антиоксиданты: 200 мг;
- белки – 0,3 г; жиры – 0,2 г; углеводы – 13,8 г.

Суммарно содержание полезных нутриентов составляет:

$$12 + 0{,}4 + 0{,}1 + 100 + 20 + 0{,}2 + 3 + 200 + 0{,}3 + 0{,}2 + 13{,}8 = 350 \text{ баллов}.$$

ГИ яблока: 40.

Подставляем эти значения в формулу:

$$\text{Коэффициент полезности} = 350 / 40 = 8{,}75.$$

Таким образом, коэффициент полезности яблока равен 8,75. По сравнению с другими овощами и фруктами (таблицы 7 и 8) это высокий показатель. Следовательно, яблоко является особенно полезным продуктом питания. Значительное содержание витаминов, минералов и антиоксидантов в сочетании с низким ГИ делают данный фрукт одним из самых ценных.

Данные таблиц 7 и 8 позволяют определить коэффициент полезности плодов, выращенных в различных климатических зонах. Кроме того, модифицировав методику расчёта, можно установить данный параметр и для растений, культивируемых с применением минеральных и биоудобрений.

Таблица 7 – Коэффициент полезности плодов, выращенных в умеренной климатической зоне

Плоды	Суммарное содержание полезных нутриентов, баллов	ГИ	Коэффициент полезности
Яблоко	350	40	8,75
Груша	155,74	38	4,1
Вишня	269,54	22	12,25
Слива	193,63	29	6,68
Клубника	290,15	40	7,25
Картофель	543	80	6,79
Морковь	384,9	47	8,19
Свёкла	365,2	64	5,71
Капуста белокочанная	283,3	45	6,3

Таблица 8 – Коэффициент полезности плодов, выращенных в тропической климатической зоне

Плоды	Суммарное содержание полезных нутриентов, баллов	ГИ	Коэффициент полезности
Манго	236,98	51	4,65
Папайя	213,88	60	3,56
Банан	433,87	51	8,51
Ананас	196,99	59	3,34
Авокадо	573,12	15	38,21
Киви	440,02	52	8,46
Питахайя	329,19	48	6,86
Гуава	517,9	78	6,64
Маракуйя	456,3	30	15,21

Полученные результаты рекомендуется использовать для уточнения диетической ценности продуктов, так как численное значение учитывает не только наличие полезных минеральных элементов, микронутриентов, но и их отношение к скорости усвояемости.

Заключение

В ходе исследования проанализирован широкий спектр нутриентов, входящих в состав пищевых продуктов. Здоровой и полноценной считается та пища, в которой присутствует достаточное количество полезных для организма элементов, витаминов и др. Авторами отмечена малоизученная роль ультрамикроэлементов ввиду их низкого содержания в продуктах питания.

Комплексно рассмотрены методы повышения пищевой ценности органической продукции и особенности её производства в условиях замкнутой экосистемы, в том числе в ЭКД. Применение соответствующих технологий и кулинарных способов приготовления позволит снизить потери пищевой ценности продуктов питания на 10–30 %. Результаты лабораторных исследований показали, что можно увеличить содержание витаминов, сахаров и основных минералов в растительной продукции (на 20 % и более) за счёт использования почвенного эликсира плодородия uTerra. При этом влияние биоудобрения на количество микро- и ультрамикронутриентов требует изучения и может быть гораздо существеннее (50 % и более) ввиду их активного выноса из почвы при интенсивном ведении сельского хозяйства.

Предложен вариант собственной шкалы оценки качества продукции; проведены анализ и расчёт коэффициента полезности различных продуктов по разработанной методике. Коэффициент полезности, включающий в себя как данные о витаминах, минералах, пищевых волокнах и антиоксидантах, так и показатель ГИ, является более информативным, чем описание содержания белков/жиров/углеводов или всех элементов по отдельности. Такой комплексный подход позволяет объективно оценивать различные продукты и делать обоснованные выводы об их пользе для здоровья.

Указанный способ определения ценности овощей и фруктов необходим в первую очередь тем людям, у которых нарушена работа поджелудочной железы, в связи с чем ГИ для них – существенный фактор при выборе продуктов, и тем, кто стремится снизить свой вес. Однако для спортивного питания рассматриваемый коэффициент не играет значимой роли.

Известно, что высокое содержание полезных веществ в пище не всегда гарантирует их эффективную усвояемость организмом. Важно, чтобы эти вещества были оптимально взаимосвязаны с другими нутриентами и усваивались постепенно, без резких всплесков уровня глюкозы в крови. Коэффициент полезности мог бы учесть такие аспекты и дать более точную оценку качества продукта.

Внедрение комплексного показателя, безусловно, станет особым вкладом в общую копилку знаний о здоровом питании. Это позволит людям делать осознанный выбор продуктов, основываясь на объективных данных, а значит, улучшить состояние своего здоровья за счёт включения в рацион самых полезных овощей и фруктов.

В дальнейшем планируется провести углублённую проработку концепции оценки качества пищевых продуктов, выращенных в ЭКД, проанализировать влияние органических удобрений на содержание микро- и ультрамикроэлементов, а также осуществить тестирование способов комплексного повышения качества здоровой пищи. Кроме того, следует усовершенствовать предложенную методику, которая будет учитывать тип питания: лечебный, спортивный, повседневный или для здорового снижения веса.

Список основных источников

1. *Юницкий, А.Э. Особая роль пищи как строительного материала для организма человека в условиях замкнутой биосферы ограниченных размеров / А.Э. Юницкий, Н.С. Зыль, Е.А. Шахно // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 12 сент. 2020 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – С. 376–387.*
2. *Чернуха, И.М. Продукты здорового питания: анализ классификационных признаков и методологические основы классификации / И.М. Чернуха // Всё о мясе. – 2009. – № 1. – С. 24–28.*
3. *Маратова, А.М. Здоровый образ жизни – гармония жизни и здоровье человека / А.М. Маратова // Наука и современность. – 2013. – № 22. – С. 16–20.*
4. *Ткаченко, Е.И. Питание, микробиоценоз и интеллект человека / Е.И. Ткаченко, Ю.П. Успенский. – СПб.: СпецЛит, 2006. – 590 с.*
5. *Ткаченко, Е.И. Клиническое питание. Состояние и перспективы развития / Е.И. Ткаченко // Клиническое питание. – 2003. – № 1. – С. 3–7.*
6. *Зыль, Н.С. Разработка универсального рациона питания жителей ЭкоКосмоДома / Н.С. Зыль, Е.А. Шахно // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы IV междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 18 сент. 2021 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2022. – С. 259–267.*
7. *Сарьян, В.К. Повышение адаптационных возможностей человека в условиях возрастающего техногенеза и увеличения риска человеческих и материальных потерь от ЧС природного и техногенного происхождения – витальная задача (задача выживания) современной цивилизации / В.К. Сарьян, А.П. Назаренко, В.В. Ермаков // Большая Евразия: развитие, безопасность, сотрудничество: ежегодник / отв. ред. В.И. Герасимов. – М.: ИНИОН РАН, 2019. – Вып. 2, ч. 2. – С. 730–738.*
8. *Hercberg, S. The Nutri-Score Nutrition Label / S. Hercberg, M. Touvier, J. Salas-Salvado // International Journal for Vitamin and Nutrition Research. – 2022. – Vol. 92, iss. 3–4. – P. 147–157.*
9. *Покровский, А.А. Понятие об организации правильного питания / А.А. Покровский, Т.В. Аношина // Актуальные вопросы психологии и формирования здорового образа жизни студенческой молодёжи: материалы XIII междунар. науч.-техн. конф. «Студенческий научный форум», Архангельск, 10–15 февр. 2021 г. / Север. (Аркт.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Архангельск: САФУ, 2021. – Вып. 4. – С. 140–146.*
10. *Скурихин, И.М. Всё о пище с точки зрения химика: справ. издание / И.М. Скурихин, А.П. Нечаев. – М.: Высш. шк., 1991. – 288 с.*
11. *Пасечный, В.Н. Проблема белка или проблема качества пищи [Электронный ресурс] / В.Н. Пасечный. – Режим доступа: https://studylib.ru/doc/2087947/problema-belka2. – Дата доступа: 10.07.2024.*
12. *Пища – главный фактор здоровья и долголетия человека / К.Я. Мотовилов [и др.] // Пища. Экология. Качество: тр. XIV междунар. науч.-практ. конф., Новосибирск, 8–10 нояб. 2017 г. / СибНИТИП СФНЦА РАН, НГАУ. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2017. – Т. 1. – С. 8–12.*
13. *Инновационные и традиционные способы приготовления и сохранения натуральной пищи в ЭкоКосмоДоме / А.Э. Юницкий [и др.] // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы V междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 23–24 сент. 2022 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2023. – С. 224–233.*
14. *Решетник, Е.И. Методология проектирования продуктов питания с требуемым комплексом показателей пищевой ценности / Е.И. Решетник, Т.В. Шарипова, В.А. Максимюк. – Благовещенск: Изд-во Дальневосточ. ГАУ, 2016. – 198 с.*
15. *Дымар, О.В. Состав, свойства и качество пищевых топлёных жиров / О.В. Дымар, С.А. Гордынец, И.В. Калтович // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья. – 2009. – № 4. – С. 256–263.*
16. *Мархоцкий, Я.Л. Валеология: учеб. пособие / Я.Л. Мархоцкий. – 2-е изд. – Минск: Выш. шк., 2010. – 286 с.*
17. *Дыхан, Л.Б. Педагогическая валеология: учеб. пособие / Л.Б. Дыхан, В.С. Кукушин, А.Г. Трушкин. – М.; Ростов н/Д: ИКЦ «МарТ», 2005. – 528 с.: ил.*
18. *Спиричев, В.Б. Витамины и обогащённые ими продукты в питании и поддержании здоровья современного человека / В.Б. Спиричев // Вопросы диетологии. – 2012. – Т. 2, № 3. – С. 31–34.*
19. *Смирнов, В.А. Витамины и коферменты: учеб. пособие / В.А. Смирнов, Ю.Н. Климочкин. – Самара: СамГТУ, 2008. – Ч. 2. – 91 с.: ил.*

20. *Nieder, R. Microelements and Their Role in Human Health / R. Nieder, D.K. Benbi, F.X. Reichl // Soil Components and Human Health. – Dordrecht: Springer, 2018. – P. 317–374.*
21. *Новиков, В.С. Роль минеральных веществ и микроэлементов в сохранении здоровья человека / В.С. Новиков, Е.Б. Шустов // Вестник образования и развития науки Российской академии естественных наук. – 2017. – № 3. – С. 5–16.*
22. *Колесниченко, Л.С. Микро- и ультрамикроэлементы: Mn, Fe, I, Se, Mo, Co (лекция 5) / Л.С. Колесниченко // Байкальский медицинский журнал. – 2005. – Т. 53, № 4. – С. 94–99.*
23. *Биологическая и хозяйственная эффективность удобрения жидкого органического комплексного «юТерра» производства Крестьянского (фермерского) хозяйства «Юницкого» при его применении на редисе (Raphanus sativus) защищённого грунта в 2023 году (первая ротация): отчёт / Белорус. гос. с.-х. акад.; рук. А.Н. Иванистов. – Горки, 2023. – 5 с.*
24. *Биологическая и хозяйственная эффективность удобрения жидкого органического комплексного «юТерра» производства Крестьянского (фермерского) хозяйства «Юницкого» при его применении на редисе (Raphanus sativus) защищённого грунта в 2023 году (вторая ротация): отчёт / Белорус. гос. с.-х. акад.; рук. А.Н. Иванистов. – Горки, 2023. – 5 с.*
25. *Биологическая и хозяйственная эффективность удобрения жидкого органического комплексного «юТерра» производства Крестьянского (фермерского) хозяйства «Юницкого» при его применении на салате листовом защищённого грунта в 2023 году (первая ротация): отчёт / Белорус. гос. с.-х. акад.; рук. А.Н. Иванистов. – Горки, 2023. – 5 с.*
26. *Биологическая и хозяйственная эффективность удобрения жидкого органического комплексного «юТерра» производства Крестьянского (фермерского) хозяйства «Юницкого» при его применении на салате листовом защищённого грунта в 2023 году (вторая ротация): отчёт / Белорус. гос. с.-х. акад.; рук. А.Н. Иванистов. – Горки, 2023. – 5 с.*
27. *Биологическая и хозяйственная эффективность удобрения жидкого органического комплексного «юТерра» производства Крестьянского (фермерского) хозяйства «Юницкого» при его применении на томате защищённого грунта в 2023 году: отчёт / Белорус. гос. с.-х. акад.; рук. А.Н. Иванистов. – Горки, 2023. – 5 с.*
28. *Биологическая и хозяйственная эффективность удобрения жидкого органического комплексного «юТерра» производства Крестьянского (фермерского) хозяйства «Юницкого» при его применении на огурце защищённого грунта в 2023 году: отчёт / Белорус. гос. с.-х. акад.; рук. А.Н. Иванистов. – Горки, 2023. – 5 с.*
29. *Макарова, Н.В. Съедобная упаковка из отходов переработки яблок / Н.В. Макарова, Н.Б. Еремеева, Я.В. Давыдова // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2020. – № 51. – С. 26–34.*
30. *De Temmerman, J. The Impact of the Nutri-Score Nutrition Label on Perceived Healthiness and Purchase Intentions // Appetite. – 2021. – Vol. 157. – 104995.*



УДК 624.016+629.7

Конструктивные решения струнного мембранного шатра в рамках объекта «ЭКД-Земля»

А.Э. Юницкий[1,2]
доктор философии транспорта

К.В. Шутько[2]

С.С. Нарейко[2]

[1] ООО «Астроинженерные технологии», г. Минск, Беларусь

[2] ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Беларусь

Конструктивная схема и геометрическая форма любого здания влияют на его технико-экономические характеристики: несущую способность, эксплуатационную пригодность, устойчивость к ветровой нагрузке, материалоёмкость и др. На основе поиска оптимальных геометрических и конструктивных параметров выявлены различия между прямоугольным и круглым вариантами сооружения «ЭкоКосмоДом на планете Земля» (ЭКД-Земля), для чего произведены расчёты их пространственных моделей.

Определена наиболее рациональная конструктивная схема – в виде круглого мембранного шатра, а также обоснованы её технико-экономические преимущества. Рассмотрено использование полимерной плёнки из этилентетрафторэтилена в качестве несущего материала мембранного покрытия. Представлены показатели материалоёмкости для струнного мембранного шатра ЭКД-Земля в зависимости от региона строительства на нашей планете.

Ключевые слова:
замкнутая экосистема, мембранный шатёр, предварительное натяжение, струны, ЭкоКосмоДом (ЭКД), ЭкоКосмоДом на планете Земля (ЭКД-Земля), ETFE.

UDC 624.016+629.7

Structural Solutions for String Membrane Tent as Part of ECH-Earth Facility

A. Unitsky[1,2]
Dr. of Philosophy in Information Technologies (Transport)

K. Shutsko[2]

S. Nareyko[2]

[1] Astroengineering Technologies LLC, Minsk, Belarus

[2] Unitsky String Technologies Inc., Minsk, Belarus

The structural design and geometric shape of any building influence its technical and economic characteristics, such as load-bearing capacity, operational suitability, wind resistance, material efficiency and others. Based on the search for optimal geometric and structural parameters, the differences between rectangular and circular designs for the EcoCosmoHouse on planet Earth (ECH-Earth) structure are discovered, with calculations of their spatial models.

The most rational structural scheme – circular membrane tent – is identified, and its technical and economic advantages are substantiated. The use of polymer film made of ethylene tetrafluoroethylene as the load-bearing material for the membrane covering is considered. Material efficiency indicators for the string membrane tent of the ECH-Earth are presented, depending on the construction region on the planet.

Keywords:
EcoCosmoHouse (ECH), EcoCosmoHouse on planet Earth (ECH-Earth), enclosed ecosystem, ETFE, membrane tent, prestressing, strings.

Введение

На сегодняшний день тема создания замкнутой экосистемы как никогда является актуальной для развития цивилизации и сохранения всего живого. Мир сталкивается с серьёзными вызовами, обусловленными изменением климата, загрязнением окружающей среды и исчезновением видов. Эти проблемы угрожают человечеству и требуют срочных мер для их решения. Кроме того, научные исследования показывают, что многие виды живых существ в земной биосфере за миллионы лет совместной эволюции оказались взаимосвязаны настолько, что не могут существовать друг без друга.

Построение замкнутой экосистемы биосферного типа позволит наиболее эффективно управлять ограниченными ресурсами, минимизировать органические отходы и сохранять природное биоразнообразие. В целом, создание замкнутой экосистемы для развития цивилизации и защиты всего живого является важнейшей задачей [1].

Курс на разработку подобного проекта взят ранее: программа индустриализации ближнего космоса «ЭкоМир» включает элементы, которые призваны объединить инженерные технологии, биосферу Земли и человека в один биосферный организм при помощи возведения кластеров – ЭкоКосмоДомов (ЭКД) – на орбите и в неблагоприятных климатических условиях на Земле [2]. Авторы рассматривали различные конструктивные решения ЭкоКосмоДома на планете Земля (ЭКД-Земля) и продолжают развивать и совершенствовать свои идеи. На данном этапе стоит задача найти наиболее оптимальный вариант и приступить к практической реализации проекта.

Технико-экономический анализ конструктивных решений

Эффективное большепролётное покрытие – необходимый компонент создания замкнутой экосистемы, так как для устойчивого и продуктивного функционирования в ней флоры и фауны (включая микрофлору и микрофауну) следует учитывать не только защитные свойства оболочки, но и возможность обеспечения достаточного естественного освещения и циркуляции воздуха. Именно поэтому к будущему ЭКД-Земля предъявляется ряд требований, связанных с материалами, которые сочетают в себе прочность, долговечность и коррозионную стойкость к внешним воздействиям, а также с удобством обслуживания и ремонта инженерных систем большепролётного сооружения и высоким комфортом для жизнедеятельности людей, животных и растений.

В [3] определено, что для реализации столь грандиозной задачи наиболее экономически выгодная форма здания – фрагмент тора в виде арок из гнутых труб (рисунки 1, 2). Однако такая несущая конструкция, работающая на сжатие, весьма материалоёмкая и дорогостоящая, особенно при увеличении размеров ЭКД-Земля.

С целью уменьшения удельной стоимости 1 м^2 полезной площади сооружения инженером А.Э. Юницким предложен следующий вариант решения – большепролётный шатёр со струнной несущей конструкцией, работающей на растяжение, с предварительно натянутой оболочкой (мембраной), для которой целесообразно применять полимерную плёнку из этилентетрафторэтилена (ETFE).



Рисунок 1 – Конструктивное решение ЭКД-Земля в виде фрагмента тора (высота 30 м) (вариант, визуализация)

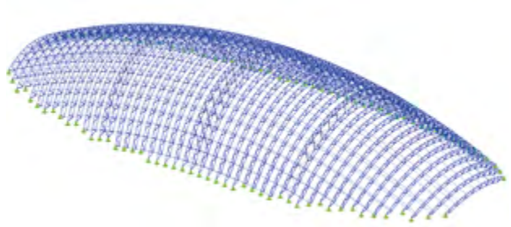


Рисунок 2 – Конструктивное решение ЭКД-Земля в виде фрагмента тора из гнутых труб (высота 30 м) (вариант)

Главные преимущества оболочки из фторполимера ETFE – малый вес, прочность и долговечность [4]. При использовании струн в качестве несущих элементов такие характеристики позволяют перекрывать значительные пролёты (до 500 м и более) практически без увеличения удельной материалоёмкости сооружения.

Покрытие шатра изготовлено из нескольких слоёв ETFE – изменённого сополимера, который изобретён NASA для космической промышленности. Материал уникален тем, что на него не влияют ультрафиолетовое излучение и атмосферные загрязнения.

В отличие от стекла и полиэтилена, которые пропускают только 5 % необходимого растениям солнечного спектра, максимальная прозрачность фторполимерной плёнки ETFE составляет 95 %, а в ультрафиолетовом диапазоне – свыше 90 % (рисунок 3).

Полный спектр света, особенно ультрафиолет, играет важную роль для здоровья растений. В естественной среде под влиянием ультрафиолета они производят большее количество защитных биологически активных соединений (бета-каротин, антоцианы и гликозиды), которые обусловливают естественный (природный) цвет, вкус и питательную ценность. Кроме того, ультрафиолет подавляет развитие многих микроорганизмов, включая грибы и бактерии, вызывающие болезни растений, культивируемых в теплицах [5].

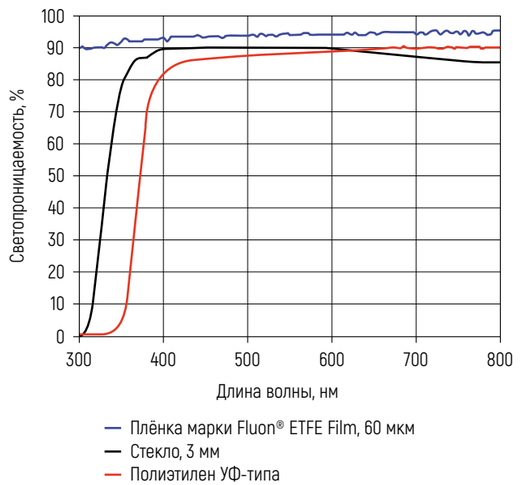


Рисунок 3 – Светопроницаемость плёнки ETFE и схожих материалов [5]

Фторопластовая плёнка имеет антиадгезионное покрытие, следовательно, на ней не скапливается ни пыль, ни грязь. По этой же причине на её поверхности не закрепляются простейшие микроорганизмы и водоросли. Для очистки и смывания спор, семян, пыльцы растений, любых природных или техногенных загрязнений достаточно ливневого дождя [5].

Долговечность плёнки без значительных изменений её свойств – свыше 50 лет. На протяжении срока службы она практически не теряет светопропускную способность, сохраняя не менее 95 % от первоначальной. Плёнка обладает особой прочностью и ремонтопригодностью, в случае повреждения её можно легко починить специальным скотчем, сделанным из такой же плёнки.

Покрытие шатра представляет собой многослойную конструкцию, имеющую воздушные прослойки, за счёт которых достигаются высокие теплоизолирующие свойства – в местах креплений плёнки к струнам отсутствуют мостики холода. Наружная плёнка выполняется более прочной (большей толщины), так как именно она воспринимает внешние атмосферные воздействия, остальные плёнки – меньшей толщины и монтируются с меньшим натяжением (рисунок 4), что ведёт к снижению стоимости шатра. Однако в любых вариантах исполнения плёнки монтируются с предварительным натяжением и являются плоскими струнами – мембранами.

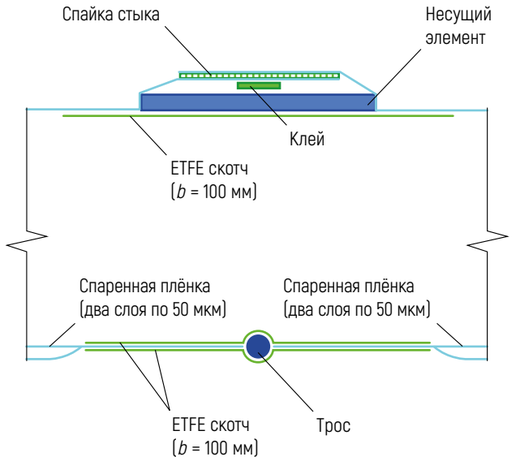


Рисунок 4 – Узел крепления плёнок ETFE многослойного покрытия к несущим элементам

Рассмотрим возможные несущие конструкции ЭКД-Земля. Для анализа взяты две схемы большепролётного струнного шатра – прямоугольная и круглая в плане (рисунки 5, 6).

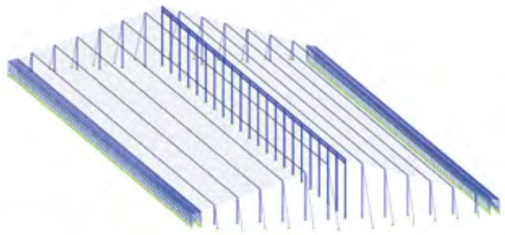


Рисунок 5 – Общий вид
прямоугольной в плане конструктивной схемы ЭКД-Земля

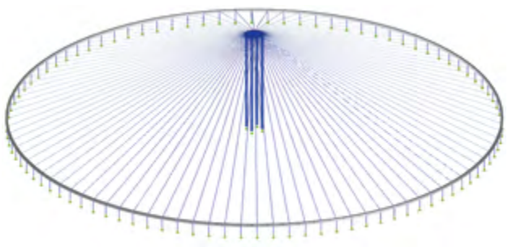


Рисунок 6 – Общий вид
круглой в плане конструктивной схемы ЭКД-Земля

Несущий остов прямоугольной схемы представляет собой полный металлический каркас, имеющий покрытие из предварительно натянутых струн, в качестве которых используется стальная лента или высокопрочные проволоки (канаты) (рисунок 7).

Предварительное натяжение струн может выполняться различными способами: прямым (натяжение струн с применением талрепов или лебёдок) либо косвенным (подъём центральной коньковой фермы при помощи домкратов). На рисунке 8 изображён пример узла натяжения струн прямым методом.

Самый рациональный вариант фундамента описываемого прямоугольного сооружения имеет комбинированный вид: отдельно стоящие столбчатые конструкции под торцевые рамы и внутренние стойки ферм, а также балка цоколя по контуру зданий с анкерами в грунте [6].

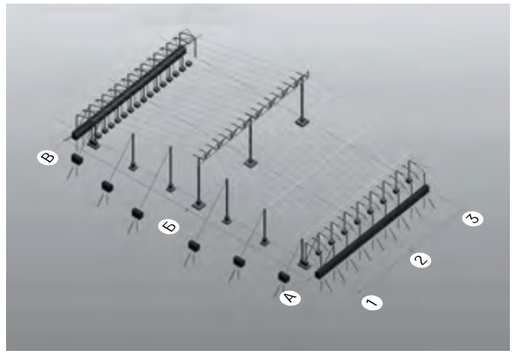


Рисунок 7 – Общий вид несущих конструкций прямоугольной схемы (вариант)

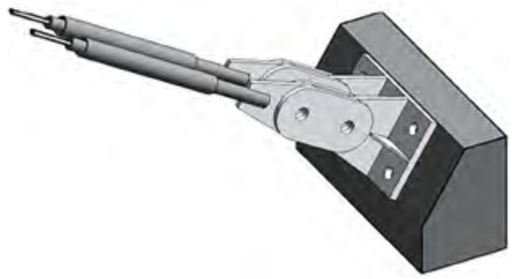


Рисунок 8 – Узел натяжения струн прямым методом (вариант)

Анкеры в фундаментах шатра представляют собой устройство, служащее для передачи выдёргивающих усилий от строительных конструкций на грунтовую толщу. Такое техническое решение (рисунок 9) не требует создания глубоких котлованов и проведения больших объёмов других земляных работ, что ускоряет процесс возведения и делает его безопасным, быстрым и недорогим.

Совсем иным предложен конструктив круглого в плане сооружения. Размер шатра (исходя из равенства полезных площадей) составляет 180 м в диаметре (площадь – 2,5 га). Его пространственная устойчивость и геометрическая неизменяемость обеспечиваются работой круглой в плане висящей кольцевой балки (стальная или железобетонная, подобная ободу велосипедного колеса, в котором спицами являются несущие струны), а также центральными поддерживающими колоннами, жёстко сопряжёнными с фундаментами.

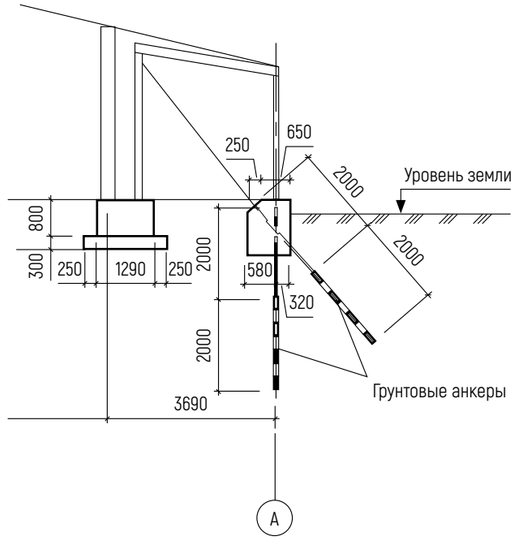


Рисунок 9 – Устройство фундаментов для прямоугольной схемы (вариант)

Круглое висячее покрытие в виде однопоясной шатровой системы выполнено с применением предварительно напряжённых лент (струн), расположенных по кругу под наклоном, достаточным для скатывания снега с плёночного покрытия. Стальные ленты поддерживают прозрачное покрытие (мембрану). В качестве наружного опорного контура, испытывающего сжатие, взято железобетонное кольцо [7], сечение которого позволит воспринять усилия сжатия, а также надёжно зафиксировать в нём закладные детали для дальнейшего крепления струн (рисунок 10). Для ускорения работ кольцо может быть использовано в сборном исполнении – готовые линейные сегменты изготавливаются на заводе и привозятся на место возведения сооружения для последующего монтажа (аналогично, например, строительству железобетонных каркасных зданий или балочных мостов).

Центральное стальное кольцо испытывает растяжение, поэтому его целесообразнее выполнить из стали. Передача вертикальной нагрузки от внешнего кольца на основание происходит через поддерживающие конструкции – стальные сваи-стойки.

Фундаментами выступают металлические сваи, закручиваемые с поверхности земли (рисунок 11), что сильно сокращает время производства работ, связанное с нулевым циклом, не снижая общей надёжности сооружения.

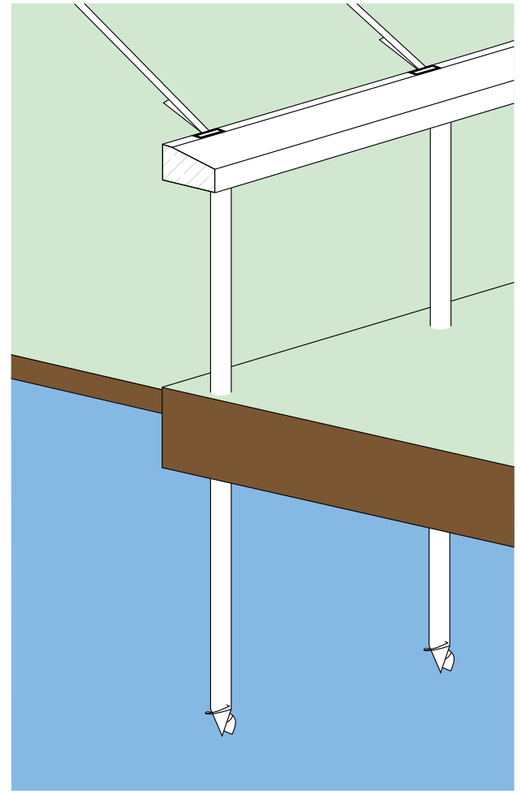


Рисунок 10 – Фрагмент конструкций

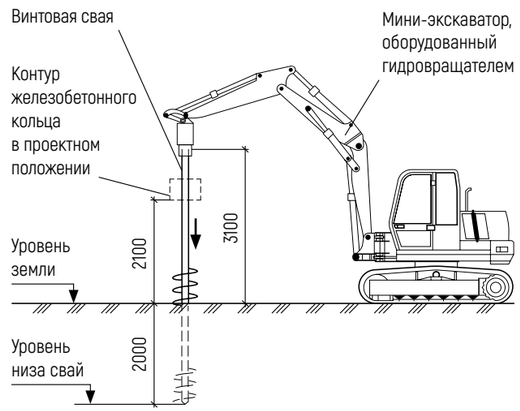


Рисунок 11 – Устройство фундаментов

Натяжение струн в шатре круглой формы можно выполнить несколькими способами, например одновременно всех струн (путём поднятия домкратами центральной конструкции) или каждой струны отдельно. Оптимальный метод – натяжение при помощи опускания внешнего железобетонного несущего кольца под собственным весом (рисунок 12). Кроме того, данный подход менее трудозатратный и позволяет осуществлять равномерное натяжение струн, что положительно сказывается на рабочем процессе.

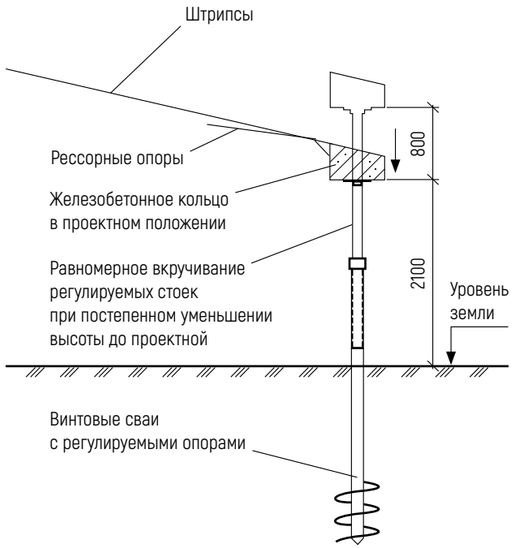


Рисунок 12 – Натяжение струн
посредством опускания
железобетонного несущего кольца

Круглый контур ЭКД-Земля является самой эффективной конструктивной схемой, так как он безмоментный, что в свою очередь обеспечивает рациональные сечения конструктивных элементов. При восприятии возникающих усилий в несущих элементах круглого шатра целесообразно использовать свойства традиционных строительных материалов. Вместе с тем при несимметричном нагружении висячего покрытия такого шатра происходит взаимное перераспределение натяжений во всех напряжённых элементах с учётом изгибной жёсткости центральных колонн (величины их горизонтального смещения).

Выполним расчёт предложенных конструктивных схем.

Круглая форма сооружения позволяет существенно снизить общий коэффициент аэродинамического сопротивления при боковом ветре независимо от направления его действия [8]. При помощи программы RWIND 2 численно смоделированы ветровые потоки, изополя действия которых показаны на рисунках 13–17.

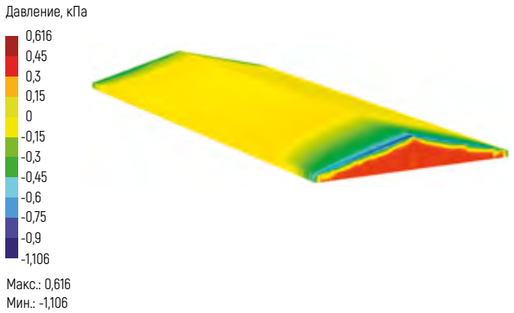


Рисунок 13 – Изополя давления на поверхности
прямоугольной схемы (направление набегающего потока ветра
параллельно длинной стороне сооружения)

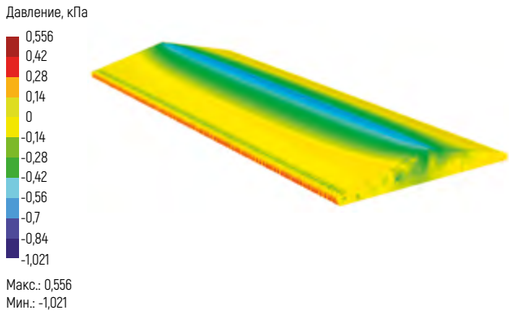


Рисунок 14 – Изополя давления на поверхности
прямоугольной схемы (направление набегающего потока ветра
параллельно короткой стороне сооружения)

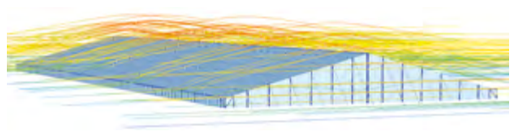


Рисунок 15 – Графическое изображение огибания
ветровыми потоками прямоугольного в плане сооружения

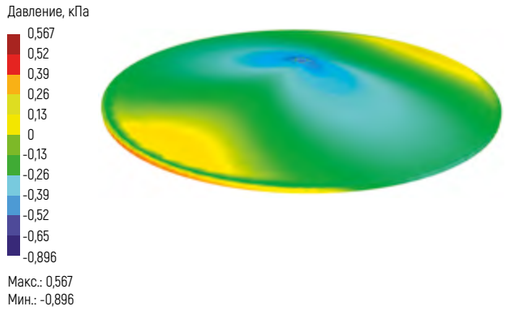


Рисунок 16 – Изополя давления на поверхности круглой схемы

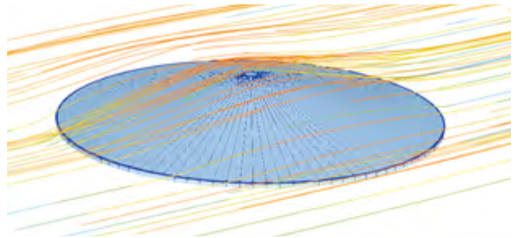


Рисунок 17 – Графическое изображение огибания
ветровыми потоками круглого в плане сооружения

Как видно из приведённых изополей давлений и графических изображений огибания сооружений ветровыми потоками, круглый шатёр имеет более обтекаемую форму и, как следствие, более низкий общий коэффициент аэродинамического сопротивления. Благодаря данной форме на поверхности отсутствуют углы, изломы, выступы, плоские скаты, что предотвращает скопление снега при его перемещении ветром, а значит, можно рассчитать снеговую нагрузку без учёта заносов. Кроме того, известные свойства самоочищаемости плёнки ETFE позволяют утверждать, что сухой снег скатится и сдуется ветром с покрытия даже при наклоне порядка 5 %. Талый снег также соскользнёт с конусообразной кровли при небольшом его накоплении (не более 20–30 мм).

Таким образом, можно учитывать только часть нормативной снеговой нагрузки, что существенно снизит материалоёмкость и стоимость несущей конструкции круглого шатра.

Результаты расчётов различных конструктивных схем шатра ЭКД-Земля сведены в таблицу. Сравнительный анализ показывает, что удельная стоимость несущих конструкций струнных шатров существенно ниже, чем у других конструктивных схем. Шатёр с окружностью в основании более выгодный вследствие ряда вышеперечисленных факторов.

Таблица – Сравнительный анализ материалоёмкости и стоимости конструкций
(для новых рассматриваемых схем (плоской и круглой в плане) – в ценах на июнь 2024 г.)

Показатель	Фрагмент тора высотой 30 м (конструктив из отдельных ферм)	Большепролётный струнный прямоугольный в плане шатёр	Большепролётный струнный круглый в плане шатёр
На 1 м² площади			
Масса стальных конструкций, кг	60	20,9	12,7
Стоимость стальных конструкций, бел. руб.	574	166	102
Площадь покрытия, м²	1,3	1,03	1,03
На 1 м³ объёма здания			
Масса стальных конструкций, кг	4,11	1,6	1,4
Стоимость стальных конструкций, бел. руб.	39,1	12,6	11,2
Площадь покрытия, м²	0,09	0,08	0,11
Общая стоимость стальных конструкций (шатёр площадью 2,5 га), бел. руб. (USD)	12 362 940 (3 757 733)	4 152 879 (1 277 809)	2 595 398 (798 584)

Необходимо отметить, что не только экономика диктует явные преимущества круглого основания ЭКД-Земля перед прямоугольным. Периметр круга меньше периметра прямоугольника такой же площади, значит, данное решение будет эффективнее по материалоёмкости и энергозатратам, связанным с поддержанием микроклимата тёплого контура меньшего периметра – при охлаждении летом и нагреве зимой замкнутой экосистемы биосферного типа.

Плоская кровля прямоугольного шатра часто становится причиной возникновения флаттера – колебаний при порывистом ветре, амплитуда которых при указанных пролётах может достигать нескольких метров. Кроме того, торцы прямоугольного шатра будут испытывать более высокие ветровые нагрузки, чем кровля, и их придётся дополнительно усиливать.

В прямоугольном шатре наружный контур воспринимает большее значение горизонтального сдвигающего усилия от натяжения струн и требует выполнения более массивных фундаментов, на которые это усилие передаётся. Круглый контур является безмоментным – внешнее самонесущее опорное кольцо, работая на сжатие, компенсирует натяжение струн и не передаёт его на фундамент, что считается неоспоримым преимуществом.

Заключение

Технико-экономический анализ показал, что для ЭКД-Земля оптимальным конструктивным решением является круглый шатёр с несущими плоскими струнами (стальные ленты) и многослойное прозрачное покрытие из фторполимера ETFE, также выполненное в виде плоской струны – мембраны. Данный шатёр имеет невысокую материалоёмкость и низкую стоимость при увеличенной несущей способности под воздействием расчётных нагрузок (собственный вес, боковой ветер и снеговая нагрузка).

Список основных источников

1. *Юницкий, А.Э. ЭкоКосмоДом как пространство для сохранения видового разнообразия тропической и субтропической флоры / А.Э. Юницкий, В.К. Павловский, Д.В. Феофанов // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 153–157.*
2. *Юницкий, А.Э. Особенности проектирования жилого космического кластера «ЭкоКосмоДом» – миссия, цели, назначение / А.Э. Юницкий // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 51–57.*
3. *Обзор возможных конструктивных решений объекта «ЭкоКосмоДом» на планете Земля / А.Э. Юницкий [и др.] // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 169–177.*
4. *Bessey, R.P. Structural Design of Flexible ETFE Atrium Enclosures Using a Cable-Spring Support System / R.P. Bessey. – Provo: Brigham Young University, 2012. – 107 p.*
5. *Плёнки из инновационного фторопласта-40, или ETFE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ftorpolymer.ru/docs/plenki-iz-innovacionnogo-ftoroplasta-40-ili-etfe.pdf. – Дата доступа: 10.07.2024.*
6. *Общие положения по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений: СП 5.01.01-2023. – Введ. 05.15.2023. – Минск: СТРОЙТЕХНОРМ, 2023. – 144 с.*
7. *Виноградов, Г.Г. Расчёт строительных пространственных конструкций / Г.Г. Виноградов. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1990. – 264 с.: ил.*
8. *Руководство для проектировщиков к Еврокоду 1: Воздействия на сооружения: пер. с англ. / Х. Гульванесян [и др.]. – М.: МГСУ, 2011. – 340 с.*



УДК 725.8.012+629.7

Моделирование закрытого биосферного пространства в шатре, имеющем светопрозрачное плёночное покрытие

А.Э. Юницкий[1,2]
доктор философии транспорта

М.М. Давыдик[2]

[1] ООО «Астроинженерные технологии»,
г. Минск, Беларусь

[2] ЗАО «Струнные технологии»,
г. Минск, Беларусь

Рассмотрены особенности жилой среды нового типа (uCity), которая предполагает организацию обитаемого пространства по принципу автономного существования в биосферном равновесии и создание универсальных закрытых биосферных комплексов шатрового типа, предназначенных для обеспечения необходимых условий жизнедеятельности при регулируемых климатических параметрах. Проанализированы отдельные методы имитационного моделирования данного пространства. Указаны преимущества использования жилых систем с искусственным климатом в экстремальных регионах Заполярья, тропических пустынь, а также в орбитальных ЭкоКосмоДомах. Предложены оригинальные способы возведения пространственных конструкций в виде шатра для проведения в них исследований устойчивости и самодостаточности среды обитания биосферного типа.

Сложность задачи, поставленной в данном исследовании, заключается в поиске универсальных инженерных и технологических решений в приемлемом диапазоне экономических показателей, чтобы в созданной модели биосферного пространства проводить изучение допустимых параметров среды обитания в динамике её развития и при сохранении биологического гомеостаза.

Ключевые слова:
биологический гомеостаз, биосферное пространство, криптоклиматический комплекс, линейный тип расселения, шатёр с плёночным покрытием, ЭкоКосмоДом (ЭКД), uCity, uNet.

UDC 725.8.012+629.7

Modeling Closed Biosphere Space in Translucent Film-Coated Tent

A. Unitsky[1,2]
Dr. of Philosophy
in Information Technologies
(Transport)

M. Davydik[2]

[1] Astroengineering Technologies LLC,
Minsk, Belarus

[2] Unitsky String Technologies Inc.,
Minsk, Belarus

The characteristics of a new living environment (uCity) were considered, focusing on organizing inhabited spaces based on autonomous biospheric equilibrium and the development of universal closed biosphere complexes designed as tent-like structures to provide essential living conditions with controlled climate parameters. Methods for simulation modeling of this space were analyzed. The study highlights the benefits of utilizing artificial climate-controlled habitats in extreme areas, such as the Arctic, tropical deserts and in orbital EcoCosmoHouses. Innovative construction techniques for erecting tent-like spatial structures to study sustainability and self-sufficiency of biosphere habitats were proposed.

The challenge in the article lies in identifying universal engineering and technological solutions within economically feasible limits. This involves examining acceptable habitat parameters that support dynamic development and maintaining biological homeostasis within the constructed biosphere model.

Keywords:
biological homeostasis, biosphere space, cryptoclimatic complex, EcoCosmoHouse (ECH), film-coated tent, linear type of settlement, uCity, uNet.

Введение

Моделирование закрытых биосферных пространств с субтропическим климатом представляет собой передовую область исследований, направленных на создание комплексов, характеризующихся устойчивой и самодостаточной средой обитания. Инновационные решения в этой сфере открывают возможности для освоения экстремальных территорий Земли и ближнего космоса, предлагая альтернативу традиционным методам управления экосистемами [1]. Инженерное проектирование и разработка сопутствующих технологий играют ключевую роль в достижении указанных целей, позволяя адаптироваться к различным параметрам окружающей среды – от заполярных регионов до орбитальных станций. Успех таких проектов зависит от множества факторов, включая точность математического моделирования, эффективность использования ресурсов и способность поддерживать стабильность и устойчивость внутренней среды, что делает результаты исследования чрезвычайно важными для будущего человечества. Создание действующих имитационных моделей закрытых биосферных пространств даёт возможность увидеть и решить проблему, связанную с их стабильностью и устойчивостью, ещё до начала эксплуатации объекта в реальных условиях.

Основные принципы моделирования биосферных пространств

Моделирование закрытых биосферных пространств с субтропическим климатом, который является наиболее комфортным для длительного проживания человека, представляет собой сложный и многогранный процесс, требующий глубоких знаний в области экологии, биологии, инженерии и системного анализа. Это направление исследований активно формируется в связи с планированием длительных космических миссий, а также для поиска решений устойчивого развития земной цивилизации. Основная цель моделирования закрытых биосферных пространств заключается в создании контролируемой среды обитания, которая может поддерживать жизнь в условиях, максимально приближенных к естественным, при этом оставаясь изолированной от влияния внешнего мира.

Для лучшего понимания принципов моделирования биосферных пространств проведём обзор существующих способов решения данной проблемы.

На первое место следует поставить работу по тщательному подбору компонентов биосферы, включая виды и количество растений, животных и микроорганизмов, которые должны обеспечивать обмен веществ, энергии и информации внутри замкнутой системы. В то же время важным компонентом является поддержание баланса между продуцируемыми и потребляемыми ограниченными ресурсами, что требует точного моделирования и прогнозирования всех процессов, происходящих внутри среды биосферного типа.

Второе значимое направление – построение математических моделей, помогающих понять динамику биосферных процессов и предсказать их поведение в различных условиях. Эти модели основаны на принципах системной динамики и подобны проекту «Гея», предложенному Н.Н. Моисеевым и его коллегами [2], где биосфера Земли рассматривается как единая саморегулирующаяся система. В данном контексте уместна цитата из работы Н.Н. Моисеева: «И первое, что оказывается необходимым для реализации подобных идей, – это умение организовать серию вариантных расчётов: эксперту важно представить себе характер изучаемого процесса, степень его «управляемости», характер предельных возможностей (множеств достижимости), т. е. организовать многократно повторенный машинный эксперимент с моделью. Для этой цели и должны быть созданы модели, имитирующие реальность, имитирующие изучаемый процесс» [3].

Кроме того, использование имитационного моделирования в современном экологическом исследовании позволяет основательно проникнуть в сущность анализируемого объекта или явления в коэволюции биосферы и человеческого общества. Данный подход способствует лучшему пониманию сложных взаимодействий между компонентами биосферы и даёт возможность разработать более эффективные и надёжные системы для поддержания жизни [4].

Важная часть моделирования – архитектурное проектирование закрытых пространств, которое должно учитывать не только функциональные, но и психологические аспекты проживания в изолированной среде. Архитектурные решения включают в себя зоны для отдыха, работы, обучения и социальных коммуникаций, а также интегрируют элементы природы для формирования более естественной и здоровой обстановки.

Для того чтобы спасти биосферу Земли от дальнейшей деградации, потребуется восстановление созданных природой условий для обеспечения здоровой жизни. При этом развитие техногенной цивилизации должно осуществляться без ущерба для всего живого на планете. Одной из самых популярных концепций в данной сфере считается экодом с системой возобновляемой энергии и нулевым воздействием на окружающую среду.

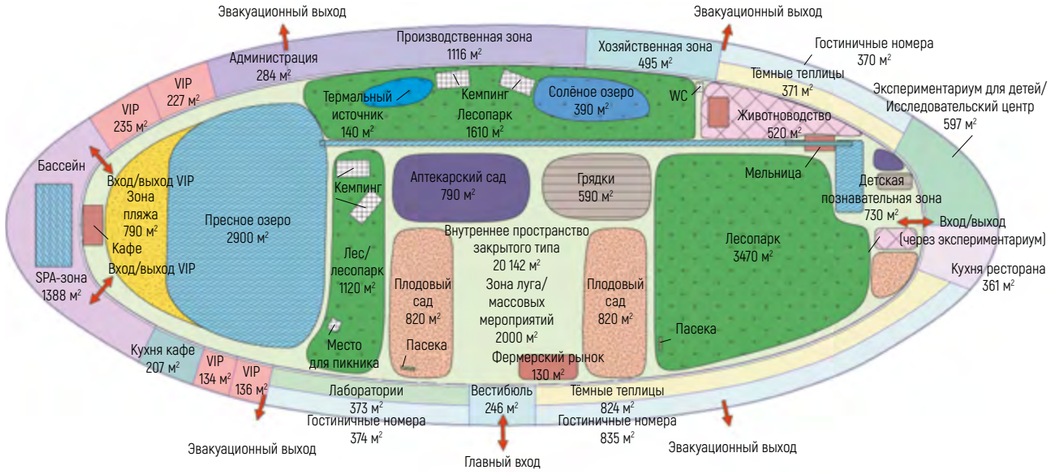
Подобные планировочные элементы составляют основу линейных городов uCity – поселений кластерного типа, соединённых между собой международной транспортно-инфраструктурной сетью uNet [5]. В недалёком будущем они станут городами новой инженерной цивилизации, способной грамотно и эффективно использовать плодородные земли и застраивать значительные территории без вреда для экосистемы планеты.

В настоящем исследовании за образец модели закрытого биосферного пространства приняты условные характеристики ЭкоКосмоДома на планете Земля (ЭКД-Земля), изображённого на рисунке 1 [6, 7].

ЭКД-Земля представляет собой прототип ЭкоКосмоДома (ЭКД) – автономного жилого поселения замкнутого типа, который планируется построить для жизни и работы людей на околоземной орбите.



а)



б)

Рисунок 1 – Вариант ЭКД-Земля: а – общий вид (модель); б – планировочная схема

Достоинства выбранной модели: её параметры позволяют имитировать биосферу планеты во всём разнообразии флоры и фауны наиболее благоприятных для жизни человека климатических зон Земли, а также микрофлоры и микрофауны – почвенного биогеоценоза с тысячами видов агрономически ценных микроорганизмов. Эти условия эквивалентны земным и должны обеспечивать комфортную атмосферу (по давлению, составу, влажности, температуре), оптимальную продолжительность суток и года, а также естественную освещённость.

Таким образом, моделирование закрытых биосферных пространств является перспективным направлением, которое объединяет усилия учёных различных дисциплин в поисках решений, позволяющих поддерживать жизнь при ограниченных ресурсах. Такой подход открывает значительные возможности не только в освоении космоса, но и в улучшении качества проживания на Земле, способствуя созданию устойчивых и самодостаточных экосистем.

Анализ литературных источников о закрытых биосферных системах

Слово «биосфера» впервые ввёл в обиход в 1875 г. австрийский геолог Э. Зюсс. В 1926 г. русский учёный В. Вернадский опубликовал книгу, в которой биосфера описана как самоподдерживающаяся экологическая сеть жизни, формирующая оболочку планеты [8].

Закрытые биосферные системы представлены в различных исследовательских проектах, включая знаменитый эксперимент «Биосфера-2» [9], проведённый в начале 1990-х годов в штате Аризона (США). В ходе данной программы намеревались изучить возможности поддержания жизни в изолированной среде, имитировавшей различные биоценозы Земли (рисунок 2). По сценарию учёных, экипаж добровольцев из восьми человек должен был длительный срок находиться внутри биосферы без каких-либо контактов с внешним миром, обеспечивая себя всем необходимым для жизни внутри замкнутого пространства. Проект, нацеленный на слияние экологии и технологий в новой форме, был широко разрекламирован, в него вложили значительные средства, тем не менее результат исследования оказался неудовлетворительным из-за непродуманного научного сопровождения и отсутствия пригодной системы моделирования замкнутой экосистемы. В течение двух лет восемь человек выращивали папайю, свёклу, бананы, рис и др. Несмотря на то что некоторые виды культур вымерли, экосистема всё-таки выстояла, но ожидаемого эффекта учёные не достигли. В итоге эксперимент досрочно прекратили.

Если говорить о корректности описываемого научного исследования, то самая главная его недоработка – упущение и недооценка множества процессов, происходивших одновременно в замкнутой системе. Это не позволило выделить причины и следствия различных явлений, чтобы отличить случайные совпадения от значимых закономерностей. Большим недостатком также стало то, что лишь незначительная часть данных, полученных в ходе неудавшегося эксперимента, была проанализирована и опубликована.



Рисунок 2 – Экспериментальный комплекс «Биосфера-2» (штат Аризона, США, 1991 г.)

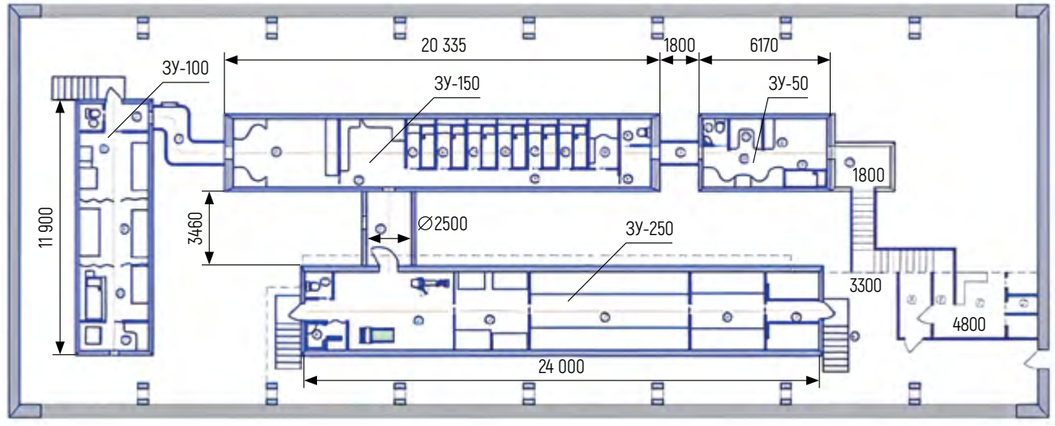
Ещё одним примером может служить состоявшийся в начале 2000-х годов проект «Марс-500» (рисунок 3), в котором были имитированы условия длительного космического полёта для подготовки к миссии на Марс. Организатором данной программы выступил Институт медико-биологических проблем РАН [10].

Российское научное учреждение ставило своей целью проверить и подтвердить технические и эксплуатационные характеристики систем замкнутых модулей на соответствие возможности выполнения работ экипажем (специально отобранные шесть человек) в условиях, максимально приближенных к реальным. В ходе нескольких научных экспериментов, проведённых с 2007 по 2010 г., получены подробные данные по следующим направлениям:

- клинико-физиологическое и физиологическое;
- психологическое;
- биохимическое и иммунологическое;
- микробиологическое и санитарно-гигиеническое;
- операционно-технологическое и биологическое.



а)



б)

Рисунок 3 – Экспериментальный комплекс «Марс-500» (Россия, 2007–2011 гг.): а – внешний вид модулей; б – схема модулей

В экспериментальную программу входило более 70 различных научных исследований и опытов, результаты которых имели важное значение для дальнейшей подготовки марсианской экспедиции, а следовательно, применимы при организации интересующих нас биосферных пространств.

В рассмотренных примерах основное внимание уделялось проблеме длительного пребывания человека в условиях замкнутого автономного существования. При моделировании биосферных пространств необходимо проводить столь же тщательное исследование создаваемой жилой среды во всей полноте её взаимосвязей.

В системах, подобных описанным, главные усилия нужно направить на поддержание круговорота веществ и энергии, что позволит обеспечивать жизнь без внешнего вмешательства. Для удовлетворительного прогнозирования состояния закрытых биосферных объектов в более широком понимании важно обратиться к опыту изучения поведения относительно замкнутых экологических систем в живой природе, где были установлены определённые закономерности, которые характеризуются двумя различными свойствами: устойчивостью и стабильностью.

Устойчивость определяет постоянство отношений между живыми организмами внутри системы и является мерой её возможности сохранять жизнедеятельность под воздействием изменений переменных и параметров. С другой стороны, устойчивость – это способность системы возвращаться в равновесное состояние после временного нарушения баланса. Быстрота данного процесса и наименьшие колебания при этом характеризуют стабильность системы. Исследования показали, что чем больше видов живых организмов существует в экосистеме, тем больше в ней устойчивых равновесий. Численность организмов может значительно колебаться, но общая устойчивость системы будет повышена. При этом нестабильность численности иногда приводит к увеличению разнообразия видов и пространственной неоднородности и, соответственно, к усилению устойчивости [11].

Особое место в проектировании и строительстве закрытых биосферных систем занимают актуальные разработки времён советского периода освоения Арктики, а также современный и международный опыт реализации подобных проектов. При систематизации типологических решений такой застройки в научный обиход вошло определение «криптоклиматические комплексы» [12], которое вмещает в себя весь спектр сооружений, имеющих регулируемые климатические параметры. Анализ примеров проектирования и строительства объектов, объединённых с системой обслуживания, досуга и общения людей, позволил создать сводную классификацию возможных криптоклиматических комплексов (рисунок 4) [12].

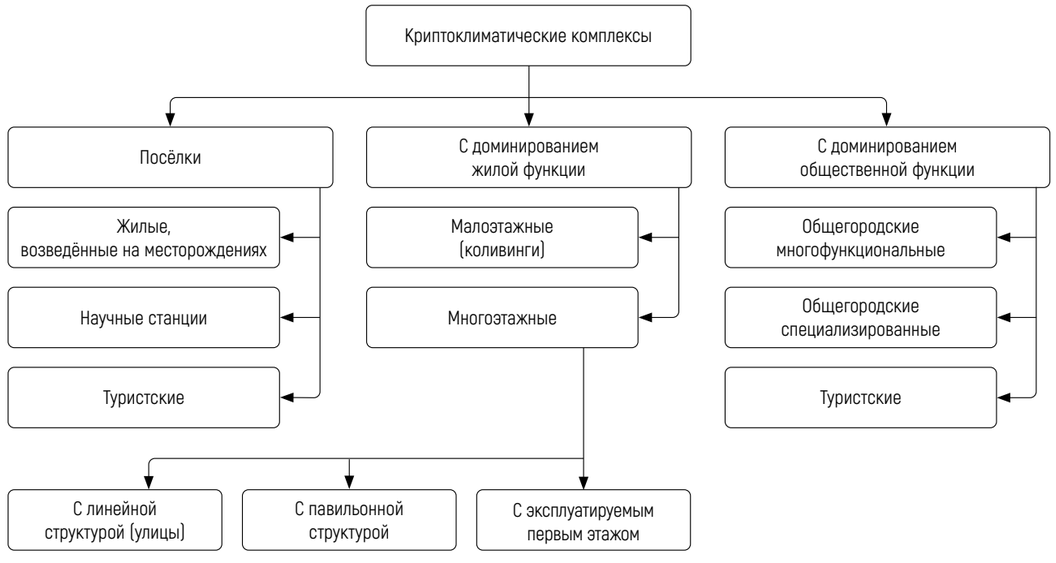


Рисунок 4 – Сводная классификация криптоклиматических комплексов

Для формирования среды жизнедеятельности людей проработаны требования к качеству и типологии жилых зданий для городов Арктики, определены группы факторов. На первом месте – природно-климатические параметры региона. Особенности расселения на Крайнем Севере, специфика социально-демографической структуры также оказывают существенное влияние. Экстремальные морозы зимой, значительные годовые контрасты температур в основные сезоны (перепад может достигать 100 °С) усугубляются сильными ветрами и снегозаносами. Наличие полярного дня и полярной ночи нарушает биоритмы человека. При этом полярная ночь вызывает психологическую депрессию, а полярный день становится причиной бессонницы и повышенной утомляемости.

Криптоклиматические комплексы, указанные в сводной классификации, призваны снивелировать региональные особенности и обеспечить максимально комфортные условия проживания. Услуги, предоставляемые в сфере социально-бытового обслуживания и досуга, будут доступны людям всех возрастных и социальных групп, поскольку данные объекты ориентированы на соседское общение и приём гостей.

Примером воплощения описанных выше идей может служить спроектированный в 1970 г. российским институтом ЛенЗНИИЭП экспериментальный жилой комплекс «Полуй» (рисунок 5) [12]. Он состоял из двух параллельно расположенных корпусов, между которыми размещался двор – зимний сад, имеющий общее с ними светопрозрачное покрытие. Сад задумывался как ядро социально-бытовой организации и пространственной композиции всего комплекса. Предложенная планировка предусматривала прямую инсоляцию помещений и минимальные теплопотери ввиду значительного сокращения удельной поверхности наружных стен.

К криптоклиматическим комплексам можно отнести основанный на архипелаге Шпицберген (Норвегия) исследовательский посёлок Ню-Олесунн, в котором имеются здания с номерами для проживания учёных, зонами отдыха и кухонными блоками, а также технические помещения с гаражом, мастерскими, инженерным оборудованием для тепло-, водоснабжения и автономной канализации [12].

В криптоклиматическом комплексе, возведённом в г. Кируна (Швеция), выполнено вертикальное зонирование пространства, где первые этажи и площадь на уровне земли перекрыты для создания внутреннего двора, а жилые корпуса расположены над общественным центром и связаны с ним лестницами [12].

Проведённые исследования показывают, что криптоклиматические комплексы не должны быть единичными объектами. Для проживания и обслуживания населения городов Арктики необходимо развить общую для всего региона систему городской инфраструктуры, которая обеспечит комфортное существование и привлечёт новых жителей [12].

Обобщая обзор арктических проектов, можно выявить преимущества использования в экстремальных условиях Заполярья жилых систем, характеризующихся искусственным климатом, и спроецировать их на любые пространства, где требуется сформировать пригодные для жизнедеятельности экосистемы.

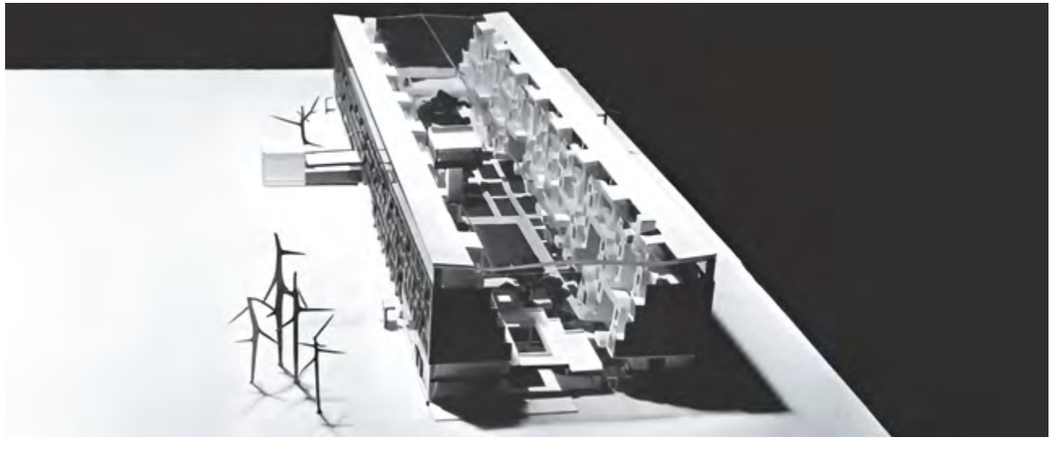


Рисунок 5 – Экспериментальный жилой комплекс «Полуй» (СССР, 1970 г.)

Таким образом, целью работы является поиск универсальных инженерных и технологических решений в приемлемом диапазоне экономических показателей, чтобы в созданной модели биосферного пространства проводить изучение допустимых параметров среды обитания в динамике её развития и при сохранении биологического гомеостаза.

Экспериментальные исследования по использованию пилотных шатров для валидации разработанных моделей

Под руководством А.Э. Юницкого в ЗАО «Струнные технологии» (г. Минск, Беларусь) решается задача оптимизации инженерных, конструктивных и экономических показателей проектируемых биосферных шатров, что позволит применять их в урбанистике, производстве органической сельхозпродукции, промышленной сфере, энергетике и транспорте.

Для валидации разработанных моделей закрытых биосферных пространств понадобится экспериментальное возведение некоторого количества сооружений, имитирующих условия криптоклиматических комплексов. Эти строения имеют форму шатров, светопрозрачное плёночное покрытие и начинены всем необходимым инженерным оборудованием для поддержания соответствующих климатических параметров внутри комплекса.

Шатры (палатки) создавались человеком ещё в древние времена. Самых разных форм и размеров, они во все эпохи применялись в качестве укрытий. Культура, климат и используемые материалы являлись факторами, определяющими выбор формы и конструкции шатровых сооружений. Развитие текстильной индустрии в XIX в. и исследования таких конструкций в начале 1950-х годов возродили этот тип строительства. Из всех видов шатров нас интересуют варианты разных конфигураций и размеров, объединённые главной функцией – внутренней замкнутой экосистемой биосферного типа с природно-климатическими условиями, идеальными для жизни человека, животных и растений, но с минимальными издержками на обслуживание и приемлемой стоимостью возведения.

В данной работе мы остановимся на двух вариантах шатров, различающихся по форме и объёму внутреннего пространства: прямоугольному и круглому в плане. Важная составляющая успеха пилотного проекта – его практическое использование уже на этапе эксперимента. Значит, в возводимом сооружении кроме места для научных исследований выделяется достаточно пространства для коммерческих целей. Кроме того, будет организована оранжерея как объект общественного назначения.

Принцип построения объёма каждого из выбранных шатров одинаков: центральная часть, поддерживаемая опорами и предварительно натянутыми стальными струнами (ленты, канаты, проволоки), перекрыта светопрозрачной плёночной мембраной из этилентетрафторэтилена (ETFE), периметр шатра огорожен теплоизолирующей преградой, в которой устраиваются входы, эвакуационные выходы, места забора воздуха.

Плёнки покрытия из полимера ETFE обладают полезными и уникальными свойствами:

- прозрачность в видимом и ультрафиолетовом спектрах;
- самоочищаемость поверхности;
- длительный срок эксплуатации (30–50 лет при условии отсутствия механических повреждений);
- ремонтопригодность;
- энергосбережение;
- инертность к химическим воздействиям;
- малый вес 1 м^2 покрытия;
- эффект антикапли;
- возможность перекрытия больших пролётов;
- пожарная безопасность.

Незначительный, если сравнивать со стеклом, вес плёнки ETFE позволяет создавать лёгкие многослойные конструкции покрытия с большими пролётами и приемлемыми теплоизолирующими свойствами без мостиков холода. Указанные качества материала предоставляют возможность конструировать шатры различных конфигураций с широким спектром функционального зонирования внутреннего пространства.

Сотрудниками ЗАО «Струнные технологии» представлены предпроектные варианты размещения биосферного шатра на территории Крестьянского (фермерского) хозяйства «Юницкого» (г. Марьина Горка, Беларусь). Из множества объёмно-планировочных концепций исследованы два предложения по организации пространства шатра. Разработаны принципиальные конструктивные решения для шатров с прямоугольным (рисунки 6–11) и круглым (рисунки 12–17) начертанием в плане. Оба варианта спланированы в виде оранжерей с субтропическим климатом и предназначены для интеграции усилий различных подразделений компании при проектировании, строительстве и эксплуатации обитаемого пространства такого типа. Научные и исследовательские цели в этом эксперименте гармонично сочетаются с практическим использованием уникального сооружения.



Рисунок 6 – Схема размещения прямоугольного шатра (оранжереи)

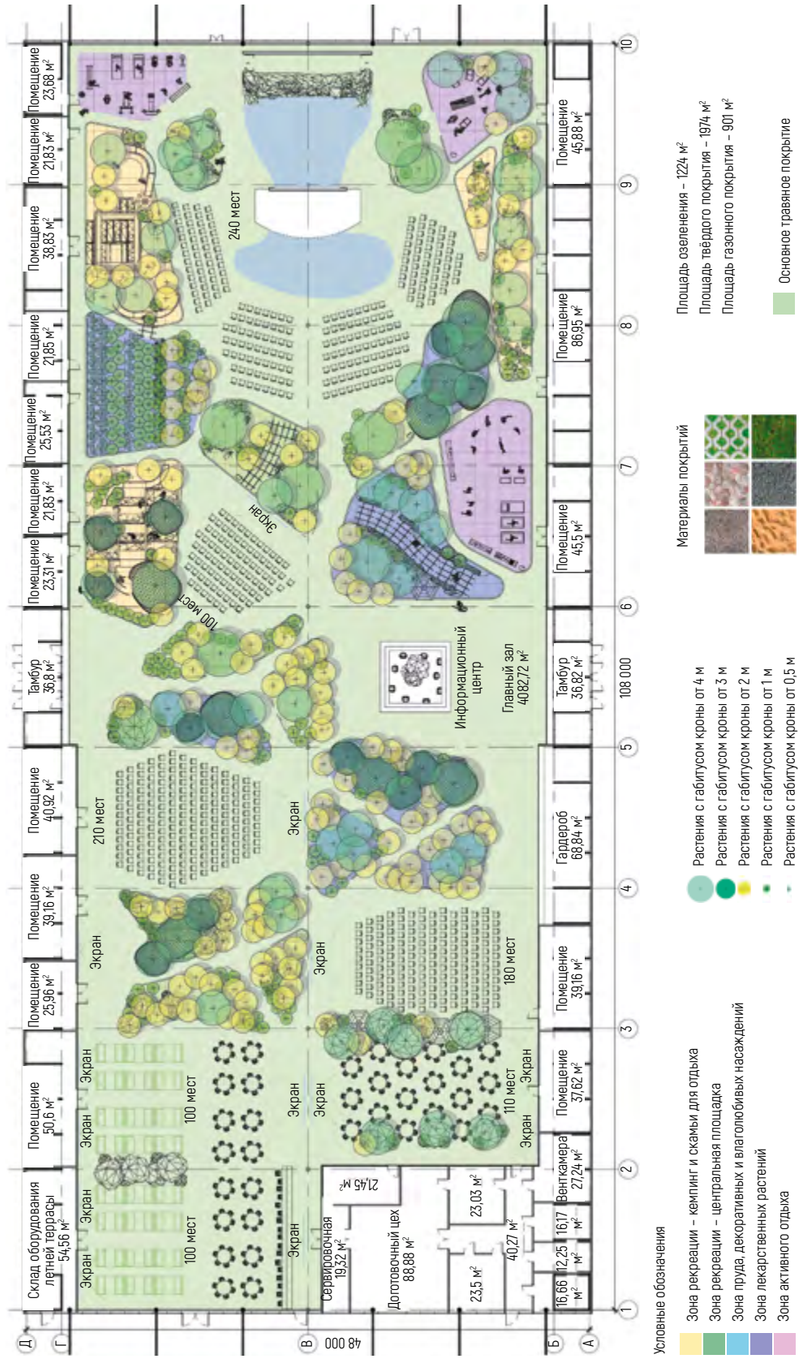


Рисунок 7 – Схема функционального зонирования прямоугольного шатра (оранжереи)

Каждый из рассматриваемых шатров может быть местом проведения различных мероприятий (конференции, форумы, выставки, познавательные экскурсии, свадебные церемонии и иные торжества), а также площадкой для отдыха и развлечения.

Функциональная часть прямоугольного шатра (рисунок 7) представлена различными зонами:

- оранжерейные секторы с плодоносящими и декоративными растительными культурами. Организованы тематически разнообразно и расположены рассредоточенно, формируя уникальный сценарий восприятия посетителями объекта;
- общественные модули. Находятся между зонами растениеводства и предназначены для организации массовых мероприятий как в единой группе, так и в составе малых групп (возможно размещение около 1000 посетителей). Трансформируемое пространство позволяет круглогодично устраивать торжества, различные по количеству участников и тематике, с предоставлением качественных преимуществ, вытекающих из функционального наполнения объекта (например, конференцию или банкет в окружении воды и зелени с соответствующей атмосферой и настроением);
- места общественного питания. Кроме основной функции предполагается возможность трансляции и, соответственно, просмотра мероприятий как проходящих непосредственно в оранжерее, так и сторонних (например, спортивных соревнований).

Сооружение, имеющее размеры в осях 48 × 108 м, выполнено из металлического каркаса, шаг средних колонн – 12 м, шаг крайних колонн – 3 м. Стропильные конструкции – фермы с параллельными поясами по средним колоннам, по крайним колоннам – гнуто-сварные профили квадратного сечения. Покрытие спроектировано из предварительно напряжённых лент с шагом 1,5 м, предварительное усилие натяжения лент основной сетки – 20 кН. Предварительное натяжение лент может быть реализовано несколькими способами: при помощи временных устройств (домкраты, талрепы, лебёдки и др.) или за счёт подъёма подстропильной коньковой фермы.



Рисунок 8 – Вид сверху на прямоугольный шатёр (оранжерею) (модель)



Рисунок 9 – Вид на прямоугольный шатёр (оранжерею) со стороны местного проезда (модель)



Рисунок 10 – Вид на общественную зону внутри прямоугольного шатра (оранжереи) (модель)



Рисунок 11 – Место тихого отдыха внутри прямоугольного шатра (оранжереи) (модель)

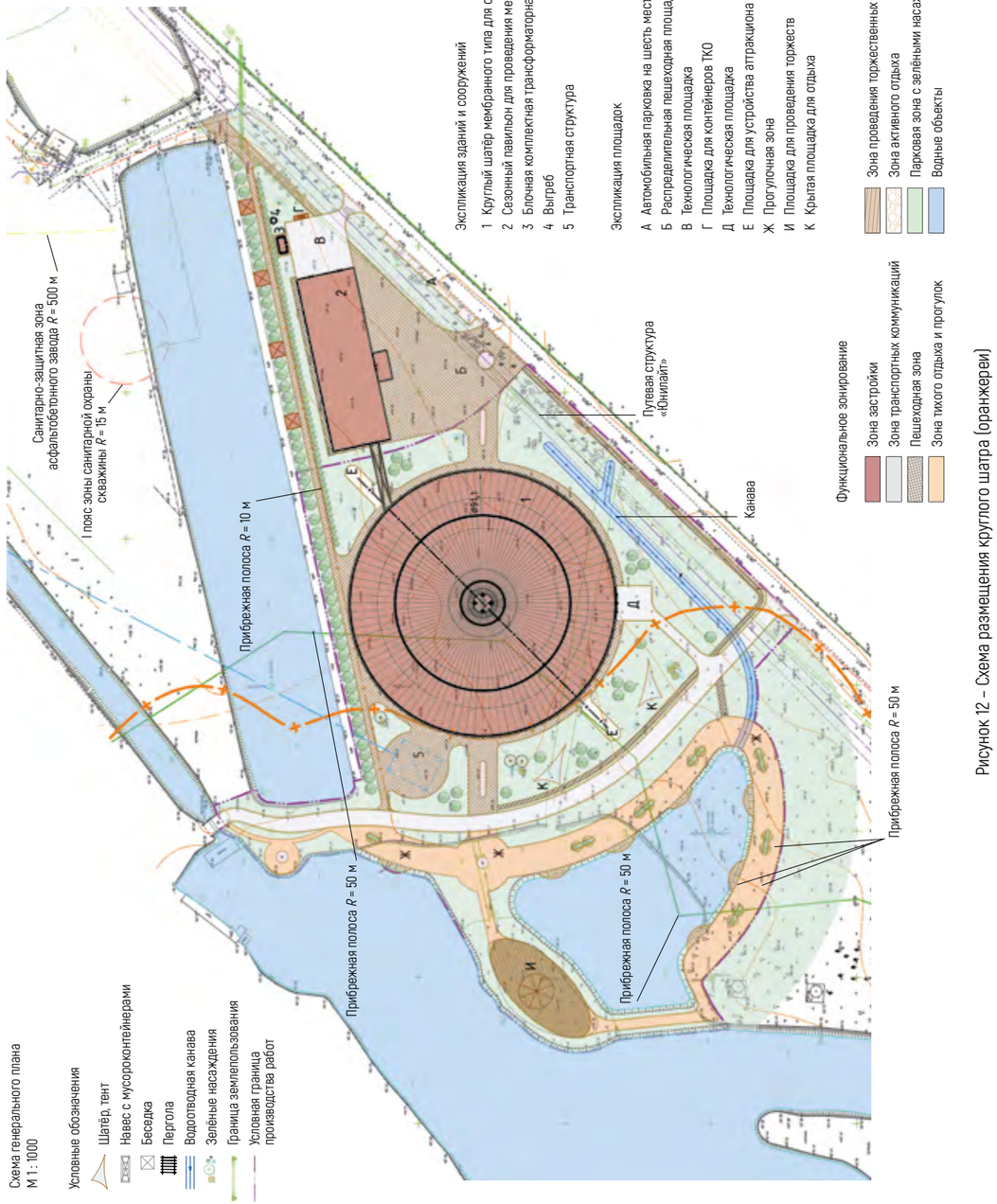


Рисунок 12 – Схема размещения круглого шатра (оранжереи)

Оранжерея, изображённая на рисунках 12–17, – это одноэтажное круглое в плане здание шатровой конструкции диаметром 91,7 м. В шатре расположены секторы для культивирования плодовых и декоративных растений, а также предусмотрена возможность выделения зон для проведения общественных мероприятий.

Зоны круглой оранжереи организованы тематически разнообразно и расположены рассредоточенно, формируя уникальные сценарии взаимодействий растительных культур друг с другом. Важной частью оранжереи является декоративный пруд, который позволяет дополнить растительный мир околоводными и водными видами, а также обеспечивает комфортный влажностный и температурный режим внутри сооружения. Находящийся снаружи аттракцион-горка предоставляет опциональную возможность для потенциальных посетителей получить острые ощущения от спуска с верхнего уровня оранжереи на уровень земли по длинному жёлобу. Вспомогательные зоны объекта предназначены для хранения хозяйственного оборудования и техники, а также для размещения узла водоподготовки, необходимого для полива и наполнения пруда. На техническом этаже центральной опорной башни установлено вентиляционное оснащение.

Круглая форма шатра с точки зрения эффективности использования объёма сооружения и компактности его размещения на площадке обладает определёнными преимуществами по сравнению с прямоугольной формой. При большей площади здания получена меньшая протяжённость его периметра и достигнута значительная экономия конструктивных материалов. Кроме того, в данном варианте применены инновационные энергетические решения: отопление помещения в холодную пору и его охлаждение при избытке тепла осуществляются за счёт систем циркуляции воды из близлежащей артезианской скважины в теплообменниках, устроенных внутри несущих металлических колонн центральной башни. Система трубопроводов обеспечивает сброс излишков тепла в грунт, находящийся под плитой пола, чтобы использовать накопленное тепло зимой [13].



Рисунок 13 – Вид сверху на участок размещения круглого шатра (оранжереи) (модель)



Рисунок 14 – Вид на круглый шатёр (оранжерею) со стороны озера Надежды (модель)

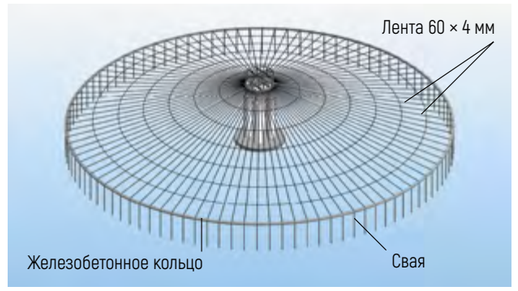


Рисунок 15 – Общий вид несущих конструкций круглого шатра (оранжереи) (модель)



Рисунок 16 – Вид на круглый шатёр (оранжерею) со стороны местного проезда (модель)



Рисунок 17 – Внутренний вид
круглого шатра (оранжереи) (модель)

Пространственная устойчивость и геометрическая неизменяемость сооружения шатра обеспечиваются совместной работой круглого в плане висящего диска покрытия и жёстких поддерживающих опор (рисунок 15). Основные несущие конструктивные элементы – круглое висячее покрытие в виде однопоясной шатровой системы, состоящей из радиально расположенных напряжённых элементов, сопрягающихся с опорными кольцами – внутренним и наружным. В качестве напряжённых элементов конструкции выступают струны (стальные ленты), для устойчивости формы которых предусматривается их фиксация в ортогональном направлении стабилизирующими элементами с кольцевым расположением в плане.

С целью уменьшения снегового воздействия на покрытие необходимо провести дальнейшие исследования для определения значения граничных углов соскальзывания снега и наледи с мембранной кровли.

Предварительные расчёты экономических показателей позволяют предположить, что использование шатров оригинальной конструкции, имеющих светопрозрачное плёночное покрытие и разрабатываемых в ЗАО «Струнные технологии», поможет значительно увеличить эффективность капиталовложений в создание закрытых биосферных комплексов благодаря относительно низкой стоимости строительства в пересчёте на 1 м^2 сооружения.

Для анализа параметров взяты аналогичные по функционалу и конструктивным материалам объекты: оранжерея The Leaf (г. Виннипег, Канада) и торгово-развлекательный центр «Хан Шатыр» (г. Астана, Казахстан). В обоих проектах, как и в наших случаях, в качестве светопрозрачного покрытия применялась полимерная плёнка ETFE. Сравнительные показатели эффективности капиталовложений приведены в таблице.

Возведение пилотного шатра – эксперимент, который позволяет испытать оригинальные конструкции в процессе эксплуатации. Кроме того, предоставляется возможность организовать уникальную площадку для проведения исследований в закрытом биосферном пространстве с целью валидации разработанных моделей универсальных инженерных и технологических решений в приемлемом диапазоне экономических показателей, а также для изучения в динамике допустимых показателей среды обитания при сохранении её биологического гомеостаза.

Общее направление развития цивилизации может быть скорректировано через изменение технократического вектора устаревших технологий, драйверами которого являются пищевой сектор, сфера коммуникаций, энергетика, инфраструктура проживания, на инновационную стратегию перехода локальных (кластерных) социумов технопотребителей к новому качественному состоянию – социотехногенному обществу через создание новой общепланетарной экоинфраструктуры [5].

Таблица – Сравнительные показатели эффективности капиталовложений, связанных с возведением шатров различных типов

Объект	Полезная площадь, м^2	Стоимость строительства объекта, млн USD	Стоимость 1 м^2, USD	KPI эффективности капиталовложений
Оранжерея The Leaf (г. Виннипег, Канада)	120 000 [14]	95 [14]	790	1
Торгово-развлекательный центр «Хан Шатыр» (г. Астана, Казахстан)	127 000 [15]	150 [15]	1180	0,67
Прямоугольный шатёр (оранжерея) в КФХ «Юницкого» (г. Марьина Горка, Беларусь)	5183	3,912	755	1,05
Круглый шатёр (оранжерея) в КФХ «Юницкого» (г. Марьина Горка, Беларусь)	6500	1,966	302	2,62

Заключение

Моделирование закрытых биосферных пространств с субтропическим климатом в шатрах, имеющих светопрозрачное плёночное покрытие, является актуальным и перспективным направлением в современной науке. Научные исследования в этой области, применённые методы и полученные результаты могут быть использованы для разработки жилых систем с искусственным климатом в Заполярье, тропических пустынях и орбитальных ЭКД.

Ожидается, что представленные оригинальные конструктивные и инженерные решения позволят смоделировать и лучше понять процессы, происходящие в закрытых биосферных пространствах с субтропическим климатом, а также оптимизировать условия их функционирования.

Описанные варианты закрытых биосферных пространств приобретают особую значимость в перспективе строительства общепланетарного транспортного средства и создания на орбите Земли транспортно-инфраструктурного и индустриального комплекса «Орбита», главной составной частью которого будет ЭКД. Именно имитационное моделирование обитаемого пространства даст возможность максимально учесть все параметры, необходимые для длительного и комфортного существования человека в космосе – в условиях, отличных от земных.

Список основных источников

1. *Управление экосистемами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru-ecology.info/post/10369200 0040032/?ysclid=lysagxtki7808507659. – Дата доступа: 20.04.2024.*
2. *Моисеев, Н.Н. Ядерный конфликт глазами климатологов и математиков / Н.Н. Моисеев, В.В. Александров // Вестник Академии наук СССР. – 1984. – № 11. – С. 65–76.*
3. *Моисеев, Н.Н. Математические задачи системного анализа / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1981. – 488 с.*
4. *Розенберг, Г.С. Глобальные модели динамики биосферы (к 100-летию со дня рождения Никиты Николаевича Моисеева) / Г.С. Розенберг // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера». – 2017. – Т. 9, № 2. – С. 107–122.*
5. *Юницкий, А.Э. Цивилизационная ёмкость космического дома по имени Планета Земля / Анатолий Юницкий. – Минск, 2021. – 148 с.*
6. *Обзор возможных конструктивных решений объекта «ЭкоКосмоДом» на планете Земля / А.Э. Юницкий [и др.] // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 169–177.*
7. *Организация внутреннего пространства ЭкоКосмоДома на планете Земля / А.Э. Юницкий [и др.] // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 12 сент. 2020 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – С. 332–343.*
8. *Вернадский, В.И. Биосфера и ноосфера / В.И. Вернадский. – М.: Айрис-пресс, 2004. – 576 с.*
9. *Zimmer, C. The Lost History of One of the World's Strangest Science Experiments [Electronic resource] / C. Zimmer. – Mode of access: https://www.nytimes.com/2019/03/29/ sunday-review/biosphere-2-climate-change.html. – Date of access: 14.05.2024.*
10. *Mars 500. Проект «Марс-500» с широким международным участием при поддержке Федерального космического агентства и Российской Академии наук. – М.: Март, 2009. – 27 с.*
11. *Holling, C.S. Resilience and Stability of Ecological Systems [Electronic resource] / C.S. Holling // Annual Review of Ecology and Systematics. – 1973. – Vol. 4. – P. 1–23.*
12. *Перов, Ф.В. Архитектура криптоклиматических комплексов для городов Арктики / Ф.В. Перов // Системные технологии. – 2022. – Вып. 3, № 44. – С. 153–160.*
13. *Godschalk, B. Aquifer Thermal Energy Storage in the Netherlands, a Research Programme (2010–2012) [Electronic resource] / B. Godschalk, G. Bakema, M. Henssen. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/ 337077579. – Date of access: 29.06.2024.*
14. *Madlener, A. The Leaf Is a Feat of Engineering and an Ode to the Canadian Prairies [Electronic resource] / A. Madlener. – Mode of access: https://www.wallpaper.com/architecture/ the-leaf-greenhouse-and-garden-complex-winnipeg-canada. – Date of access: 14.05.2024.*
15. *Царёв, В. 30 самых известных сооружений из металлоконструкций / В. Царёв, О. Александрова. – Самара: Вектор, 2019. – 140 с.*

Секция

СОЦИАЛЬНЫЕ, ПРАВОВЫЕ, ПОЛИТИЧЕСКИЕ И ФИНАНСОВЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОЙ ЦИВИЛИЗАЦИИ НА ЗЕМЛЕ И В КОСМОСЕ



УДК 524.8+008.2+629.7

Внеземные инженерные цивилизации и космическая цивилизационная панспермия

А.Э. Юницкий
доктор философии транспорта

ООО «Астроинженерные технологии»,
г. Минск, Беларусь

ЗАО «Струнные технологии»,
г. Минск, Беларусь

О межзвёздных путешествиях человек мечтает давно, при этом именно мечтает, а не проектирует полёты как инженер, исходя из законов физики, по которым возник и развивается наш дом – Вселенная. Её жителями являются галактики, звёзды, планеты и сама жизнь на планете Земля. Возможно, об этом мечтают и представители внеземных цивилизаций на экзопланетах. Современные исследователи соотносят типажи таких цивилизаций к потребляемому ими количеству энергии, однако потребление, неважно чего – пространства, времени, энергии, ресурсов, вряд ли станет драйвером развития цивилизаций инженерного типа, так как только они способны выбраться из гравитационных колодцев своих планет и начать осваивать космос, в том числе дальний.

В настоящей работе показано, что околосветовые скорости движения недостижимы для космических «Ноевых» Ковчегов с биосферной замкнутой экосистемой, поскольку именно с их помощью возможен перенос земной жизни, в первую очередь разумной, на экзопланеты других звёздных систем. Путешествие к экзопланетам, размещённым в радиусе 100 световых лет от Земли, даже со скоростью 1000 км/с займёт тысячи, а возможно, и десятки тысяч лет. Описаны особенности цивилизационной панспермии и её безопасность: физическая, энергетическая, технологическая, ресурсная, биосферная, продовольственная, социальная и др.

Обосновано, что все разумные внеземные миры, как и наша человеческая цивилизация, способные к космической панспермии и полётам к экзопланетам, относятся к одному типу – инженерному, где возможно шесть уровней социально-технологического развития. Земная инженерная человеческая цивилизация за миллиарды лет последующей эволюции с современного I уровня развития сможет подняться до V уровня. Уровень VI для нас недостижим, так как Вселенная, вероятно, и была создана цивилизацией данного уровня, существующей в Мультивселенной. При этом не исключено, что именно наша Вселенная с её тонкой настройкой и есть инженерная цивилизация высшего уровня развития, которая только так смогла пройти через сингулярность и Большой взрыв, не погибнув.

Ключевые слова:
внеземная цивилизация, Вселенная, галактика, гравитационный колодец, замкнутая экосистема биосферного типа, звёздная система, космический Ковчег, межзвёздные путешествия, панспермия, тонкая настройка.

UDC 524.8+008.2+629.7

Extraterrestrial Engineering Civilizations and Space Civilization Panspermia

A. Unitsky
Dr. of Philosophy
in Information Technologies
(Transport)

Astroengineering Technologies LLC,
Minsk, Belarus

Unitsky String Technologies Inc.,
Minsk, Belarus

Humanity has long dreamed of interstellar travel, but these aspirations often remain within the realm of imagination rather than translating into flight engineering based on the laws of physics that govern our home – the Universe. It comprises galaxies, stars, planets and life itself on Earth. It is likely that representatives of extraterrestrial civilizations on distant exoplanets share similar dreams. Modern researchers categorize such civilizations based on the amount of energy they consume. However, consumption – whether of space, time, energy or resources – is unlikely to drive the development of engineering civilizations. They are the only ones that can overcome the gravity wells of their planets and engage in space exploration, including the exploration of deep space.

This article demonstrates that near-light speeds are unattainable for space missions carrying "Noah's" Arks with enclosed biosphere ecosystems. These missions are essential for transferring terrestrial life – especially intelligent life – to exoplanets in other star systems. Even traveling to exoplanets within a 100-light-year radius at a speed of 1,000 km/s would take thousands or even tens of thousands of years. The paper also explores the challenges of civilization panspermia, addressing various security factors: physical, energetic, technological, resource-based, biospheric, nutritional and social.

The study substantiates that all advanced civilizations capable of panspermia and interstellar travel belong to a single category – engineering civilizations. They can theoretically progress through six levels of socio-technological development. Earth's current engineering civilization is at Level I, with the potential to reach Level V over billions of years of evolution. However, Level VI is likely unattainable for humanity. The Universe itself may have been created by a Level VI civilization existing in the Multiverse. It is conceivable that our Universe with its fine tuning represents an engineering civilization of the highest level, capable of passing through singularity and the Big Bang without collapsing.

Keywords:
enclosed biosphere ecosystem, extraterrestrial civilization, fine tuning, galaxy, gravity well, interstellar travel, panspermia, space Ark, star system, the Universe.

Введение

Гипотетические разумные цивилизации, возникшие и развивающиеся (или развивавшиеся в прошлом) за пределами Земли, получили название «внеземные цивилизации» [1]. Это понятие используется в фантастике, уфологии и научной среде. Наличие внеземных цивилизаций (как и их отсутствие) в настоящее время научно или экспериментально не доказано, но статистически вполне вероятно.

Античная философия постулировала невозможность существования других населённых миров, так как место в центре мироздания было уже занято Землёй. Однако в XVII в. идея поиска внеземных цивилизаций приобрела широкую поддержку в научных кругах благодаря изобретению телескопа Галилеем и гелиоцентрической системе мира Коперника. Поскольку наша Голубая планета оказалась низведена до статуса рядовой среди множества других, то предположение о существовании жизни за её пределами стало восприниматься как логически неизбежное. По мере изучения Солнечной системы возможные внеземные цивилизации переносились всё дальше и дальше от Земли – в глубь космоса.

Гипотеза о других обитаемых мирах вытекает из наших познаний о естественном происхождении и последующей эволюции жизни на Земле. Если возникновение жизни, а затем и разумной жизни – естественный процесс, то почему подобное не могло произойти и в любом ином месте во Вселенной, где имеются подходящие для этого природно-климатические условия? По современным предположениям, на других планетах Солнечной системы, скорее всего, отсутствует разумная жизнь, но ведь внеземные цивилизации могут существовать и в других звёздных системах – на экзопланетах.

Возраст Земли (около 4,5 млрд лет) составляет менее трети оценочного возраста нашей Вселенной (около 13,8 млрд лет) с момента Большого взрыва, если таковой на самом деле был. Подобное обстоятельство давало основание для представлений о более древних и более развитых цивилизациях, чем земная человеческая. Однако исследования конца XX – начала XXI в. ставят эти предположения под сомнение. Солнце – звезда третьего поколения, которая сформировалась из остатков взрывов сверхновых звёзд второго поколения. Те, в свою очередь, образовались из остатков звёзд первого поколения, появившихся непосредственно после Большого взрыва. Значит, на планетах вокруг звёзд первого поколения не было тяжёлых химических элементов, а без них жизнь не могла бы возникнуть: например, в гомеостазе и метаболизме любого живого организма на Земле (и в каждой его клетке, которых в человеческом организме около 50 трлн) участвуют более 80 химических элементов таблицы Менделеева. Звёзды второго поколения также не имели тяжёлых элементов, а для образования звёзд первого и второго поколений, вплоть до их взрыва в виде сверхновых (в недрах которых и образуются тяжёлые элементы), необходим не один миллиард лет.

Кроме того, на более ранних этапах развития Вселенной, когда звёздные системы ещё не удалились друг от друга на огромные расстояния, поверхность теоретически пригодных для жизни планет постоянно стерилизовалась в результате катастрофических астрономических событий, таких как сверхмощные гамма-всплески с близлежащих звёзд. Это касается не только систем, расположенных вблизи галактического ядра, но и существующих на окраинах галактик планет (подобных Земле), поскольку они также подвергались воздействию мощного гамма-излучения от звёзд соседних галактик, убивающих всё живое в самом зародыше.

Отметим, что планеты, пригодные для жизни, находятся в зоне обитаемости относительно недолго по космическим меркам [2]. Не только процессы, происходящие в звёздах, но и атмосферные и геохимические явления, наблюдаемые на планетах, приводят либо к быстрому их разогреву, в результате которого планеты становятся похожими на Венеру, а не на Землю, либо к такому же быстрому охлаждению, заканчивающемуся замерзанием всей жидкости, как и произошло на Марсе. При этом разумная жизнь не может помешать данным естественным процессам, протекающим на планетах и препятствующим зарождению жизни, потому что разум не может появиться раньше самой жизни.

Типы внеземных цивилизаций и Бог

В 1964 г. советский учёный Н.С. Кардашёв предложил метод измерения уровня развития разумной цивилизации, основанный на оценке количества энергии, которое она использует для своих технологических нужд [3].

Согласно шкале Кардашёва цивилизация I типа расходует энергетические ресурсы, имеющиеся на родной планете, цивилизация II типа применяет всю энергию своей звезды, а III типа – своей галактики. Затем шкала расширилась до ещё более гипотетических цивилизаций IV типа (использование ресурсов Вселенной) и V типа, способных управлять космологической Мультивселенной. Кроме того, предложены дополнительные критерии: «владение в совершенстве» планетой, звёздной системой или галактикой (достижение полного контроля над происходящими в них процессами), количество информации, контролируемой цивилизацией, и др.

Писатель-фантаст Х. Каутц переработал шкалу Кардашёва и включил в неё новые типы цивилизаций [4].

Цивилизация 0 типа является предындустриальной (первый этап космической экспансии) и использует лишь основную часть доступных энергетическиих ресурсов планеты. Наиболее близкий аналог – земное человечество XXI в. Значительная часть цивилизаций этого типа самоуничтожается в процессе перехода на новый уровень технологического развития, что, впрочем, может произойти и с нашей цивилизацией уже в текущем веке.

Цивилизация I типа расходует энергетические и минеральные ресурсы своей планеты полностью. Соседние планеты колонизируются, становясь частью ресурсной базы. Данный этап может превратиться в ловушку – цивилизация рискует войти в состояние самодостаточности, направляя все доступные ресурсы на виртуальное развитие, в том числе информационное, вместо дальнейшей физической (материальной) экспансии.

Цивилизации II типа чрезвычайно редки. Как правило, они существуют уже миллионы лет, используют всю энергию и ресурсы их звёздной системы, уже стали межзвёздными путешественниками и провели колонизацию планет в других звёздных системах своих галактик. Цивилизации данного типа пережили юность, преодолели неспокойные времена и имеют все шансы продолжить дальнейшее устойчивое развитие.

Цивилизация III типа способна потреблять энергию всей галактики. Этот уровень практически недостижим для одного вида технологической цивилизации. Для того чтобы перейти на такую ступень развития, необходимо объединение многих других цивилизаций галактики.

Цивилизация IV типа использует всю доступную энергию галактических сверхскоплений, а цивилизация V типа задействует энергию всей Вселенной.

Цивилизация VI типа может расходовать энергию нескольких Вселенных, изменять в них физические законы и даже предотвращать тепловую смерть родной Вселенной, чтобы существовать вечно.

Поскольку мы находимся на нулевом уровне, то не способны понять более развитые цивилизации и предсказать их поведение. Соответственно, шкалы Кардашёва и Каутца не могут отражать то, что реально будет происходить с передовыми цивилизациями.

По современным научным представлениям, подобные шкалы являются гипотетическими и крайне спекулятивными, так как уровень технологического развития не сводится только к потреблению цивилизацией энергии и ресурсов, а также к контролю над информацией, т. е. опять же к её потреблению (этакие цивилизационные общепланетарные, галактические и вселенские монстры потребления). Однако «потребление» является лишь общим количественным макроэкономическим показателем цивилизации потребительского типа, где вообще не учитываются качественные (в частности, социально-технологические) уровни развития самих цивилизаций. Тем не менее шкала Кардашёва использовалась земными астрономами для поиска цивилизаций в соседних галактиках.

Кроме того, согласно данной шкале сверхмассивные чёрные дыры (миллионы и даже миллиарды солнечных масс), обнаруженные в центрах многих галактик, включая Млечный Путь, также считаются цивилизациями III типа. Именно они с помощью мощного гравитационного поля собрали вокруг себя звёздные системы в галактику (чем это не разумный замысел?), чтобы затем потреблять все её доступные энергетические и минеральные ресурсы для своего роста и развития – ведь такие чёрные дыры способны поглотить не только звёздные системы, но и небольшие галактики.

Исходя из этой же логики, сингулярное состояние, предшествующее Большому взрыву, в котором находилась наша Вселенная перед началом своего расширения, и есть цивилизация VI типа, потому что именно в сингулярности была сосредоточена вся энергия и всё вещество будущей Вселенной и именно там могли быть изменены (обнулены и перезаписаны) физические законы предыдущего состояния одной из предшествующих Вселенных, входящих в состав Мультивселенной, на иные физические законы. По этим новым законам (без возможности их изменить) и будет вынуждена развиваться не только наша земная цивилизация, но и цивилизации I–V типов, если, конечно же, они где-нибудь имеются. Однако тогда цивилизация VI типа соответствует понятию «Бог» – могущественному сверхъестественному высшему сущему, которое создаёт и устраивает мир, даёт вещам, существам и лицам их бытие, меру, значение и закон [5]. Именно она, вероятно, и выполнила тонкую настройку нашей Вселенной [6]. Следовательно, верующий человек может утверждать: «Наш Мир сотворил Бог». И будет прав, как будет прав и Инженер (т. е. материалист): «Наш Мир создал Творец – инженерная Сверхцивилизация».

Инженерный тип цивилизаций

Тип цивилизации должен определяться не тем, что и сколько она потребляет – ресурсов, энергии или пространства, и не тем, что и сколько она освоила или произвела, т. е. не количественными, а качественными показателями. На самом деле все описанные выше цивилизации можно свести к одному типу: инженерная цивилизация, каковой считается и человечество, общепланетарный человеческий социум. Он создан тысячами поколений инженеров (не философов, художников, поэтов, чиновников, банкиров и олигархов, которые стали следствием, а не причиной цивилизационного развития), начиная от изобретения первого костра.

Первый костёр зажёг первобытный человек-инженер. Не пчела, муравей или дельфин, у которых также есть свои социумы и которые также являются цивилизациями, но не инженерными. У этих живых существ нет инженерных технологий, инноваций, изобретений, науки и производных от них – философии, искусства, медицины, образования, зданий, сооружений, дорог, энергетики, сельского хозяйства, связи, интернета, компьютеров, смартфонов, автомобилей, самолётов, ракет и всех тех миллионов инженерных решений, реализованных в металле, бетоне и композитах, которыми обладает земная человеческая цивилизация. Как нет и результата миллионолетней инженерии – земной индустрии. Как нет и ракеты-носителя, благодаря которой именно человек смог выбраться из земного гравитационного колодца [7]. Например, обезьяна не способна это сделать, поскольку такой «колодец» очень глубокий. Из него либо придётся карабкаться с малой скоростью в бесконечность, либо необходимо выпрыгнуть со второй космической скоростью – 11 180 м/с.

Таким образом, автора настоящего исследования интересуют только инженерные внеземные цивилизации, которые смогли выбраться со «дна» своих планетарных гравитационных колодцев в космическое пространство и получить дальнейшее социально-технологическое развитие. Они сумели открыть свою цивилизационную чашку Петри – выйти с инженерными технологиями за пределы планетарной колыбели. Ведь известно, что даже самая живучая плесень, помещённая в закрытый объём чашки Петри, переработав все исчерпаемые ресурсы чашки и загрязнив всё ограниченное пространство отходами своей жизнедеятельности, неизбежно деградирует, угасает и затем погибает.

Отсюда следует важный вывод, который не делают футурологи и фантасты при прогнозировании развития внеземных цивилизаций: они все будут инженерно разумными (а не просто разумными), потому что их развитие базируется на научных знаниях о нашем материальном мире – на законах физики (а не философии и искусства), где основа всего – точный инженерный расчёт и оптимизация всех технологических решений и процессов. Значит, количество потребляемой энергии, как в шкале Кардашёва – Каутца, вряд ли станет главным драйвером развития таких внеземных цивилизаций. А что же тогда?

Астроинженерные технологические сооружения

Для полного использования энергии звезды американский физик Ф. Дайсон предложил построить вокруг неё относительно тонкую сферическую оболочку большого радиуса (примерно равен радиусу планетных орбит), вращающуюся с орбитальной скоростью [8]. Основные причины постройки сферы фактически повторяют идеи, высказанные ещё в 1895 г. К.Э. Циолковским, который предложил её создание для цепи и колец космических поселений вокруг Солнца [9].

Согласно инженерным расчётам, для сооружения вокруг Солнца сферы Дайсона необходимы конструкционные материалы общей массой, приблизительно равной массе самой большой планеты Солнечной системы – Юпитера. При этом центробежная сила достигает максимума на экваторе и равна нулю на полюсах вращающейся сферы Дайсона, где ничто не уравновешивает силы притяжения центральной звезды. В результате такая сфера будет неизбежно разрушена мощной солнечной гравитацией. И не только потому, что в настоящее время не существует (маловероятно, что появятся и в будущем) высокопрочных материалов, в тысячи раз прочнее стали, но и потому, что гигантская пустотелая сфера диаметром порядка 300 млн км будет работать на сжатие (как купол переменного веса) и её тонкостенная оболочка (пусть толщиной даже в 1000 км) потеряет устойчивость.

Таким образом, гигантские астроинженерные сооружения, которые якобы должны быть построены цивилизациями I–V типов, не могут быть обнаружены нами, цивилизацией 0 типа, поскольку их создание невозможно не только исходя из физических законов нашей реальной Вселенной (а не виртуальной цифровой), но и из-за отсутствия необходимости возведения для инженерно разумных цивилизаций, независимо от их уровня развития.

Однако линейные астроинженерные сооружения, построенные по экватору, не только реальны исходя из законов физики, но и нужны для осуществления планов по цивилизационной экспансии сначала с планеты в ближний космос, а затем из звёздной системы в галактику. Таким решением является общепланетарное транспортное средство (ОТС), охватывающее Землю по экватору и способное доставлять в ближний космос и обратно до 10 млн пассажиров и до 10 млн тонн грузов за один рейс [10–12]. Причём экологически чисто, так как ОТС работает исключительно на электрической энергии. Вместе с тем себестоимость геокосмических перевозок примерно в 1000 раз ниже, чем ракетами-носителями.

Инженерия призвана *Homo sapiens* создавать новое, более сложное и более эффективное, а не потреблять уже существующее и более простое – это и есть проявление жизни и её разумной составляющей в нарушение второго начала термодинамики для мёртвого вещества: увеличение энтропии [13], т. е. хаоса. Согласно второму закону термодинамики разбитая чашка сама по себе не сможет восстановиться, но человек разумный, владеющий инженерией, способен её восстановить, склеив осколки, либо изготовить новую чашку, точно такую же, поскольку направит сюда не просто бездушную энергию, а энергию, структурированную в сложный инженерно разумный технологический процесс. Следовательно, любая инженерная цивилизация – цивилизация-Творец (а не цивилизация-Потребитель), основная цель которой переработать максимальное количество простой неорганической материи Вселенной в гиперсложное органическое вещество. То есть суть разумной жизни – цивилизационная панспермия [14]: из «разбитых чашек» Большого взрыва, вопреки второму началу термодинамики, «склеить» как можно большее количество «новых чашек» в нашей необъятной Вселенной.

Цивилизационная экспансия: цели и необходимость

Основная цель живых организмов, заложенная генетически, – не потребление, а созидание, переработка простого неживого (мёртвого) вещества в сложное органическое. Поэтому, раз появившись, жизнь не должна исчезнуть, что и заложено на уровне генов в главном инстинкте любого живого организма – в продолжении рода.

Жизнь – молекулы ДНК, живые клетки, ткани, органы и системы любого организма – это высшая форма инженерии, в которой Творцом (возможно, сверхцивилизацией VI типа) использованы все законы и знания о физике (квантовой и релятивисткой) и химии (неорганической и органической), энергетике и материаловедении, проектировании и конструировании (в диапазоне от нанометров до десятков метров, т. е. в размерах от молекул белка и ДНК до динозавра и кита), математике и других наших реальных (а не цифровых виртуальных) микро- и макромирах.

В качестве примера можно привести биохимический метаболизм любой живой клетки любого живого организма в живой земной биосфере. В каждой клетке одномоментно происходят тысячи сложнейших биохимических реакций с тысячами различных органических веществ, в том числе синтез молекул ДНК. В ракете-носителе, являющейся символом совершенства современной инженерии, идёт всего одна простейшая химическая реакция – горение топлива. При этом ракета не может воспроизвести саму себя или хотя бы свою часть, например реактивный двигатель, топливный бак или систему управления, а живая клетка может. Именно поэтому даже не клетка, а лишь её небольшой структурный элемент – молекула ДНК (она насчитывает десятки и даже сотни миллиардов «деталей» – атомов, структурированных в сложнейшую пространственную конструкцию) – сложнее и совершеннее любой ракеты в миллионы раз, а всей земной индустрии, созданной тысячами поколений инженеров, – в тысячи раз.

В жизнедеятельности каждой клетки участвуют более 80 химических элементов таблицы Менделеева. Там есть свои дороги, мосты, электростанции, цеха, заводы, станки, стапели, технологические линии, интеллектуальные системы управления и др. Значит, земная жизнь – инженерный проект, и её Создатель (неважно, что это или кто это – Ничто, Случай, Высокоразвитая цивилизация или Бог) является, безусловно, выдающимся Космическим Инженером.

Во время сингулярности и последующего Большого взрыва была осуществлена тонкая настройка физических законов Вселенной – «физических генов» её дальнейшего запрограммированного развития. Предназначение такой настройки – зарождение Разумной Жизни, которая, независимо от места своего случайно предопределённого появления, распространит своё развитие на весь остальной неживой материальный мир Вселенной. Поэтому целью внеземных цивилизаций будет не всё увеличивающееся потребление энергии и ресурсов, а расширение Цивилизационного Ареала сначала на соседние звёздные системы, затем на родную галактику и далее на соседние галактики и их скопления.

Межзвёздные перелёты: основные вызовы и инженерные (технологические) пути их решения

При межзвёздных полётах должны соблюдаться физические законы сохранения: массы, энергии, импульса, момента импульса, движения центра масс, запрограммированные в Большом взрыве. Например, межзвёздный космический Ковчег массой 200 000 тонн, разогнанный до скорости 100 км/с, будет иметь чрезвычайно мощную (по современным земным представлениям) энергетику:

- кинетическая энергия: 10^{18} Дж (для сравнения: такую же энергию выделит 21 млн тонн бензина при сжигании в 71 млн тонн окислителя (кислорода), т. е. в 93 млн тонн химического топлива);
- импульс: 2×10^{13} кг·м/с (для сравнения: такой же импульс имеет поезд массой 800 млн тонн, движущийся со скоростью 90 км/ч).

Кинетическую энергию и импульс необходимо подводить к кораблю во время полёта дважды: на старте (во время разгона в пределах нашей Солнечной системы) и в конце полёта (во время торможения в пределах звёздной системы, экзопланета которой станет конечной целью земной экспансии).

Стартовать нужно с земной орбиты – из точек Лагранжа L_4 или L_5 в системе «Солнце – Земля» [15], где будут созданы космическая составляющая земной индустрии и её ресурсная и энергетическая база. Прибывать – также в точки Лагранжа в системе «Звезда – экзопланета», где инженерному экипажу Ковчега нужно сформировать промышленную, ресурсную и энергетическую базу для колонизации экзопланеты, которая должна стать для земной жизни (и человека в том числе) вторым домом. Иначе зачем лететь в такую даль космическим Колумбам? Размеры точек Лагранжа (точнее, зон) на самом деле весьма обширны – они простираются на миллионы километров, поэтому там могут быть размещены тысячи астроинженерных объектов различного назначения величиной с планету.

При снаряжении космической миссии необходимо решить множество вопросов, как инженерных (проектно-конструкторские, технологические, энергетические, ресурсные, связанные с безопасностью полёта: космическая радиация и пыль, метеоритная опасность и др.), так и социально-биологических. Например, сколько видов живых организмов из миллиардов существующих на Земле должно полететь и в каком количестве («каждой твари по паре» будет явно недостаточно)? Какой должна быть закрытая экосистема биосферного типа на корабле? Сколько человек и каких специальностей должен иметь экипаж, который сменится несколько сот раз из поколения в поколение (учитывая, что просто многотысячелетним полётом миссия не заканчивается – цель ведь не просто полёт, а колонизация экзопланеты)? Как следует организовать закрытый социум, значительно более сложный, чем, к примеру, племена индейцев Амазонки, чтобы не только не деградировать за тысячелетия полёта, но и получить развитие и прогресс, которые и будут реализованы при колонизации экзопланеты?

Космический Ковчег

Ковчег – не просто космический корабль, а величайшее инженерное сооружение, своеобразный биосферный сейф, способный принять на хранение земную жизнь, включая человека, и затем перенести в целости и сохранности на экзопланеты, до которых даже свет летит многие годы. Это возможно только в ЭкоКосмоДоме (ЭКД) – замкнутой экосистеме биосферного типа [16].

ЭКД-Ковчег представляет собой не только земную биосферу в миниатюре, но и сложнейший автономно существующий в течение тысяч лет летательный аппарат со своей энергетикой, двигателями, запасами топлива и исчерпаемых ресурсов (не участвующих в биосферном круговороте), инженерными коммуникациями, ремонтной базой, жилым и производственным фондом, агротехникой, агро- и аквакультурами, флорой, фауной и плодородной почвой, а также социумом с детским садом, школой и университетом, лечебным заведением, рабочими местами с сотней специальностей и др.

Конструктив Ковчега

Корпус Ковчега имеет форму тела вращения – веретена (рисунок 1) длиной 500–2000 м и диаметром 200–500 м для экипажа численностью 1000–10 000 человек. В дальнейших исследованиях рассмотрим минимальный по размерам и биосферной вместимости данный космический корабль.

Ковчег имеет три основные зоны.

Зона 1.1 – биосферный (природный) отсек, где нет людей, а есть только не тронутая человеком флора и фауна, сухопутная и водная. Там, в частности, должен вырабатываться основной кислород для биосферных нужд и поглощаться избыток углекислого газа. Например, годовая потребность 1000 человек в кислороде для дыхания в Ковчеге составит около 180 тонн.

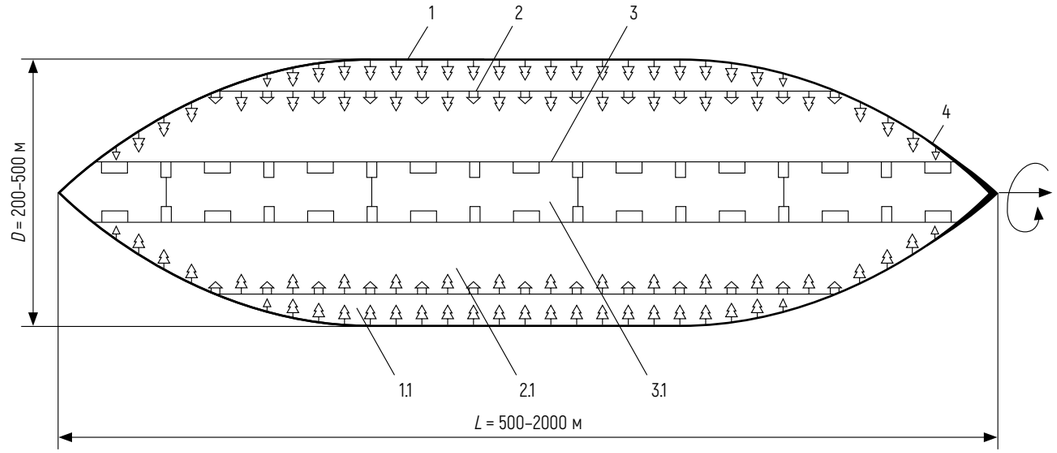


Рисунок 1 – Продольный разрез Ковчега (вариант):
1 – внешняя (защитная) оболочка, 1.1 – биосферный (природный) отсек;
2 – оболочка («пол») жилого отсека,
2.1 – жилой отсек и сельскохозяйственная зона;
3 – оболочка («пол») производственного отсека,
3.1 – производственный отсек; 4 – лобовая бронезащита

Зона 2.1 – жилой отсек и сельскохозяйственная зона – место проживания людей, выращивания органической пищи и ведения хозяйственной деятельности экипажа Ковчега.

Зона 3.1 – производственный отсек, где есть микрогравитация, невесомость (по оси вращения Ковчега), а при необходимости – и глубокий вакуум, для чего технологическую вакуумную камеру достаточно соединить с окружающим космическим пространством. Здесь размещены производственные и ремонтные цеха, роботизированный станочный парк, энергетическое, научное и иное оборудование.

Примерный состав снаряжённого Ковчега общей массой 200 000 тонн, или 200 т/чел (без топлива и учёта рабочего тела для создания тормозного реактивного импульса):

- воздух – объём 12 млн м³ (12 000 м³/чел), масса 15 000 тонн (15 т/чел, из них кислорода – 3 т/чел);
- вода (водоёмы с пресной и морской водой, грунтовая вода, техническая вода) – 25 000 тонн (25 т/чел);
- плодородная почва (биогумус) + живые организмы (флора, фауна, в том числе люди) – 45 000 тонн (45 т/чел);
- несущая конструкция – 25 000 тонн (25 т/чел);
- специальная защита (от космической радиации и метеоритов) – 35 000 тонн (35 т/чел);
- оборудование (энергетическое, производственное, эксплуатационное, инженерные сети и др.) – 40 000 тонн (40 т/чел);
- прочее – 15 000 тонн (15 т/чел).

В Ковчеге должен быть запас ядерного топлива – несколько десятков тонн в пересчёте на плутоний-239, а также несколько сотен тысяч тонн рабочего тела для создания тормозного импульса у экзопланеты (см. обоснование ниже).

Для получения земного уровня гравитации (ускорение свободного падения 9,8 м/с²) «веретено» Ковчега ещё на стартовой площадке космодрома следует раскрутить вокруг продольной оси до окружной скорости 31 м/с (один оборот за 20 с). Слой плодородной почвы, достигающий местами многометровой толщины, устилающий внутреннюю поверхность такого ЭКД и необходимый для посадки садов и лесов, а также для размещения почвенной биоты – биогеоценоза (основа плодородия любых земных почв), даст дополнительную радиационную и противометеоритную защиту.

Обозначим наиболее чувствительные инженерные проблемы и пути их решения, что особенно важно для обеспечения безопасности межзвёздного путешествия в рамках миссии цивилизационной панспермии.

Безопасность Ковчега

Защищённость Ковчега не сводится только к безопасности высокоскоростного перемещения в космическом пространстве, полном различных угроз: к защите от космического излучения, космической пыли, метеоритов и др. Не менее важно предотвратить и иные опасности, например сопровождавшие земной этап развития человеческой цивилизации: бунты, диктатуры, революции, войны, пандемии, потребительское (ради удовольствий и денег) отношение к себе, обществу и окружающей среде, а также другие глобальные проблемы в рамках замкнутой экосистемы, которые могут уничтожить не только её саму, но и живущий в ней человеческий социум – цивилизацию в миниатюре. В Ковчеге это необходимо исключить осознанно и на должном уровне: следует обеспечить технологическую и социальную, энергетическую и продовольственную, ресурсную и информационную и другие виды безопасности для инженерного (а не чисто биологического) типа цивилизации, отправившейся в многотысячелетнее путешествие.

Физическая безопасность. Основная проблема физической безопасности в таком длительном полёте – это радиационная и противометеоритная защита. Например, метеорит массой 100 кг, летящий со скоростью 20 км/с, обладает кинетической энергией, равной 2×10^8 Дж, что эквивалентно энергии взрыва заряда массой 4800 кг тротила, а со скоростью 100 км/с – уже 120 тонн тротила. Встреча с таким космическим странником может стать фатальной для всей экспедиции.

Вероятность столкновения не равна нулю, поэтому космический Ковчег должен иметь мощную броню из минералов, толщиной несколько метров, особенно в его носовой части. Поскольку для защиты важна не столько масса, сколько её толщина, то оболочка корабля должна быть выполнена с облегчённой пористой структурой. Кроме того, такая броня послужит минеральной кладовой, потребность в которой будет неоднократно возникать в течение столь длительного путешествия. Поры могут быть заполнены водой, необходимой не только для функционирования биосферного комплекса Ковчега, но и для защиты от радиации. Более того, вещество брони станет рабочим телом для создания тормозного импульса и гашения скорости Ковчега с межзвёздных до планетарных орбитальных скоростей в конце пути.

В связи с этим минеральные отходы Лагранжевой промышленности на земной орбите (т. е. космической индустрии, размещённой в точках Лагранжа в системе «Солнце – Земля») предлагается сразу же формировать (складировать, упаковывать) в виде защитной брони будущего межпланетного корабля. За один год работы такая промышленность способна при необходимости снарядить тысячи подобных космических «Ноевых» Ковчегов для путешествий во многие уголки нашей галактики Млечный Путь.

Для уменьшения толщины и массы брони, особенно в носовой части, Ковчег может быть помещён в кокон из мелкой сетки, например с ячейкой 10 × 10 мм, расположенной на расстоянии нескольких десятков метров. Метеорит, ударившись в сетку на высокой скорости, пробьёт в ней брешь, а сам фрагментируется на более мелкие части, поэтому до корпуса Ковчега долетят только фрагменты метеорита, массой не более 10 г каждый. Для повышения эффективности можно использовать несколько коконов с размерами ячеек, уменьшающимися от сетки к сетке по мере приближения к корпусу.

Энергетическая безопасность. Если на старте можно использовать ресурсы (энергетические и для создания разгонного импульса) космодрома, оборудованного в точке Лагранжа системы «Солнце – Земля», то для торможения в конце пути такие ресурсы нужно иметь с собой – на борту Ковчега. Иначе миссия космической экспансии будет не выполнена – корабль продолжит вечное странствование по Вселенной, пока его не поглотит какая-нибудь чёрная дыра.

Для выполнения межзвёздных перелётов требуется очень высокая скорость (по земным меркам) – даже к ближайшей звезде Проксима Центавра, удалённой от нас на 4,244 светового года, придётся лететь около 12 800 лет со скоростью 100 км/с.

На космодроме необходимо применять ресурсы Солнечной системы для разгона Ковчега, в том числе специальный буксир-челнок, аналогичный по функциям первой ступени ракет-носителей. При разгоне космического корабля массой сотни тысяч тонн можно использовать гравитационный манёвр вокруг планет-гигантов Сатурн и Юпитер, что даст существенное суммарное приращение скорости – до 50 км/с – без дополнительного расхода топлива [17]. Такой же манёвр совершается и в конце пути для гашения скорости, естественно, при наличии в пункте назначения планет-гигантов.

Рассмотрим полёт в дальний космос Ковчега массой нетто 200 000 тонн, причём только заключительный этап путешествия – торможение корабля у экзопланеты. Максимальное изменение скорости космического судна, которое может быть определено по формуле К.Э. Циолковского (движение тела переменной массы), лимитируется скоростью истечения рабочего тела (кинетической струи) и количеством имеющейся на борту энергии.

В таблице 1 приведены массоэнергетические характеристики Ковчега сухой массой M_1 = 200 000 тонн (без учёта массы рабочего тела M_2 и топлива M_3) при разных скоростях истечения рабочего тела V_r и скорости корабля v_{max}. Как видно из таблицы 1, при условии $V_r = v_{max}$ масса рабочего тела M_2 не зависит от максимально достигаемой скорости v_{max} и всегда равна 340 000 тонн для корабля массой M_1 = 200 000 тонн.

Однако при соотношении $v_{max} / V_r = 10$ для достижения скорости v_{max} = 50 км/с (т. е. при V_r = 5 км/с) требуемая масса рабочего тела M_2 увеличивается в 13 000 раз, а расход энергии $E_т$ – в 130 раз по сравнению с вариантом исполнения, когда соблюдается условие $v_{max} / V_r = 1$ (т. е. при v_{max} = 50 км/с и V_r = 50 км/с). При этом бортовой запас энергии $E_т = 5{,}5 \times 10^{19}$ Дж (здесь учтена только кинетическая энергия реактивной струи, без тепловых потерь) эквивалентен энергии сжигания 1,2 млрд тонн бензина и 4 млрд тонн окислителя (кислорода). Причём данный груз (топливо) необходимо везти с собой, предварительно разогнав вместе с кораблём на старте до 50 км/с, чтобы затем, через тысячи лет, затормозить с его помощью у экзопланеты. Очевидно, что реактивные двигатели на химическом топливе для межзвёздных перелётов в принципе не подходят.

Таким образом, наиболее энергоэффективным будет межзвёздный полёт, в котором соблюдается условие $v_{max} / V_r = 1$, и именно его должны избрать внеземные разумные цивилизации инженерного типа для освоения дальнего космоса.

Для достижения 1/3 световой скорости (100 000 км/с) масса рабочего тела также составит 340 000 тонн, но из-за высокой скорости истечения реактивной струи 100 000 км/с на борту Ковчега снаряжённой массой $M_1 + M_2$ = 540 000 тонн необходимо иметь топливо общей энергоёмкостью $1{,}7 \times 10^{24}$ Дж. Это эквивалентно теплотворной способности 36 трлн тонн бензина и 120 трлн тонн кислорода (всего 156 трлн тонн химического топлива) или 20 млн тонн плутония-239 – наиболее энергоэффективного топлива, доступного человеку. В последнем случае снаряжённая масса Ковчега за счёт массы топлива M_3 окажется в 37 раз больше и достигнет астрономической цифры – 20,3 млн тонн. Какой же тогда должна быть двигательная энергоустановка и где хранить эти десятки миллионов тонн радиоактивного топлива в Ковчеге относительно небольших размеров?

С инженерной точки зрения подобное исполнение звездолёта неосуществимо в принципе, поэтому околосветовые межзвёздные перелёты в нашей Вселенной будут невозможны, хотя фантасты и философы считают такой сценарий вполне вероятным. Проблема здесь не только в чрезвычайно высоких энергозатратах, но и в том, что нереально создать соответствующее оборудование даже в будущем. Очевидно, что в Ковчеге должно быть что-то вроде тепловой электростанции – ядерной, термоядерной, гипотетической *X*-ядерной – с КПД порядка 50 %. Половина энергии в такой электрогенерирующей установке уйдёт в паразитное тепло, поэтому запас топлива на корабле предполагается в два раза большим – не 20, а 40 млн тонн плутония-239, что превышает все запасы ядерного топлива, имеющегося на Земле. Электрическая энергия должна поступить в некий ионный реактивный двигатель, который с помощью электромагнитного поля разгонит некое рабочее тело до скорости 100 000 км/с.

Если торможение Ковчега в конце пути будет осуществляться в течение года, то электрическая мощность такого реактивного ионного двигателя составит $N = 1{,}7 \times 10^{24}$ Дж / 31 536 000 с = $5{,}4 \times 10^{16}$ Вт = 54 трлн кВт – без учёта затрат энергии на торможение самого топлива массой 40 млн тонн, т. е. для гипотетического случая, когда это топливо на самом деле не имеет никакой массы.

Таблица 1 – Массоэнергетические характеристики Ковчега

v_{max}, км/с	V_r, км/с	v_{max} / V_r	M_1, тонн	M_2, тонн	$M_1 + M_2$, тонн	$E_т$, Дж
50	5	10	200 000	4,4 млрд	4,4 млрд	$5{,}5 \times 10^{19}$
50	50	1	200 000	340 000	540 000	$4{,}3 \times 10^{17}$
100	100	1	200 000	340 000	540 000	$1{,}7 \times 10^{18}$
1000	1000	1	200 000	340 000	540 000	$1{,}7 \times 10^{20}$
10 000	10 000	1	200 000	340 000	540 000	$1{,}7 \times 10^{22}$
100 000	100 000	1	200 000	340 000	540 000	$1{,}7 \times 10^{24}$

Трудно представить себе двигатель подобной электрической мощности в Ковчеге небольших размеров, при этом такая же мощность выделится в виде паразитного тепла, которое сбрасывать некуда, поскольку вокруг вакуум. Даже если мы будем разгонять и тормозить Ковчег по тысяче лет, то энергоустановка электрической мощностью 54 млрд кВт (т. е. в 25 раз мощнее всех электростанций мира, функционирующих сегодня) всё равно не представляется возможной, тем более с такой же чрезвычайно высокой мощностью тепловыделения. В данном случае Ковчег со всем его содержимым расплавится и испарится за несколько секунд.

Следовательно, с инженерной (а не с чисто научной) точки зрения такой звездолёт придётся разгонять около 100 000 лет и столько же лет тормозить, поэтому преимущества более высокой скорости реальных (а не виртуальных) межзвёздных путешествий в нашей материальной (физической) Вселенной утрачивают всякий смысл. Описанные проблемы способен понять не только земной инженер, но и внеземной, который, вероятно, уже запланировал (или осуществил тысячи лет назад) полёт к экзопланете, известной нам под именем Земля, причём на разумных скоростях движения с позиций физики.

Высокие скорости истечения вещества с точки зрения инженерии на самом деле проблематичны и достижимы только теоретически. Значит, необходимо рассмотреть более реалистичный газофазный ядерный реактивный двигатель, скорость истечения реактивной струи которого приобретает максимально возможное значение – 50 км/с [18]. В качестве условного космического топлива примем также плутоний-239, имеющий теплотворную способность $8{,}36 \times 10^{13}$ Дж/кг (1 кг плутония-239 по энергоёмкости эквивалентен 1770 тоннам бензина + 6000 тонн кислорода) [19].

Поскольку гравитационный манёвр вокруг планет-гигантов может снизить скорость Ковчега в конце пути на 50 км/с (со 100 км/с до 50 км/с), то для дальнейшего полного гашения скорости с 50 км/с на борту должно быть около 340 000 тонн рабочего тела и 5,2 тонны плутония-239 в качестве топлива общей энергоэффективностью $4{,}3 \times 10^{17}$ Дж.

Если исходить из потребности в относительной энергетической эксплуатационной мощности в Ковчеге, равной 5 кВт/чел, то для жизнеобеспечения 1000 жителей за 12 800 лет путешествия к ближайшей звезде понадобится ещё около 2×10^{18} Дж энергии, или в пересчёте на плутоний-239 – 24 тонны. Тогда количество ядерного топлива на борту с 20-процентным запасом будет равно около 35 тонн в плутониевом эквиваленте, что вполне реалистично. Поскольку период полураспада плутония-239 достигает 24 100 лет, то его необходимо дополнительно получать на корабле, например, из урана-238 (период полураспада 4,5 млрд лет), в атомном реакторе на быстрых нейтронах, использующем замкнутый ядерный топливный цикл [19].

Таким образом, энергетическая составляющая Ковчега должна иметь массу около 340 000 тонн (при общей массе корабля 540 000 тонн), в основном это рабочее тело, в качестве которого целесообразно задействовать воду. Она станет резервной для биосферных процессов внутри Ковчега, будет применена для пополнения водоёмов с морской и пресной водой, в инженерных системах охлаждения и нагрева, а также как противометеоритный и противорадиационный экран. Её оптимальное место размещения – внутри пор бронезащиты космического корабля, имеющей среднюю толщину несколько метров. Вода при необходимости легко изымается и возвращается, поэтому она может участвовать и в биосферном круговороте воды в Ковчеге.

Наиболее перспективным для межзвёздных перелётов является ионный двигатель – электрический ракетный двигатель, в котором создаётся реактивная тяга за счёт ионизированного газа, разогнанного в электрическом поле до скоростей 50–210 км/с [20].

В радиусе 10 световых лет от Земли известно 11 звёзд, путешествие к которым со скоростью 200 км/с может занять до 15 000 лет. Масса рабочего тела в данном полёте также составит 340 000 тонн, а количество ядерного топлива (в пересчёте на плутоний-239) на борту для торможения у экзопланеты должно быть в четыре раза выше, чем для скорости 100 км/с, – 21 тонна.

Поскольку мощность ионного двигателя и его тяга крайне низкие, то разгонять и тормозить Ковчег придётся в течение нескольких лет (возможно, и десятилетий).

Основной ежедневной затратой энергии во время тысячелетних перелётов станет стабильное и достаточное по интенсивности и качеству освещение внутренних поверхностей Ковчега, без чего невозможен метаболизм замкнутой экосистемы биосферного типа. Следовательно, освещение, его стабильность и качество во времени – одна из критически важных бортовых энергетических технологий.

Извлекаемые запасы ядерного топлива на Земле – урана-238 (около 5 млн тонн) и тория-232 (его в 2,7 раза больше) – имеют суммарную теплотворность примерно в 30 раз выше, чем у всех ископаемых углеводородов (нефть, уголь, газ). Только этого топлива будет достаточно для снаряжения в дальний космос десятков тысяч Ковчегов со скоростью движения 100 км/с или десятков Ковчегов со скоростью 1000 км/с, так как затраты энергии для путешествия со скоростью 1000 км/с будут на два порядка выше, чем со скоростью 100 км/с.

При создании в будущем реактивных двигателей с высокой скоростью истечения струи, например равной 1000 км/с, возможно уменьшение массы Ковчега, основную часть которой в описанных случаях составляет рабочее тело массой 340 000 тонн. Эту массу можно существенно снизить, если уменьшить скорость полёта Ковчега в сравнении со скоростью реактивной струи. Так, для достижения Ковчегом скорости движения 405 км/с достаточно 100 000 тонн рабочего тела, а для скорости 223 км/с – 50 000 тонн, т. е. в 6,8 раза меньше.

Технологическая безопасность. У человечества нет опыта создания материалов, элементов, узлов, устройств и оборудования со сроком службы, превышающим 1000 лет. В обществе потребления, существующем в настоящее время на Земле, действует противоположный принцип: срок службы должен быть минимальным, чтобы потребитель купил тот же продукт, только слегка модифицированный, и принёс тем самым как можно большую прибыль производителю. Живая Природа устроена совсем по-иному: любая мать, будь то бактерия или человек, рождает ребёнка не для того, чтобы на нём заработать. Именно поэтому в Ковчеге необходимо реализовать инженерные технологии биосферного типа, обладающие функциями самовосстановления («лечения»), воспроизводства (деления технологических «клеток») и другими характеристиками, причём с потенциалом в направлении технологического прогресса (а не регресса), как и в Живой Природе, т. е. с вектором развития в направлении от простого к более сложному.

Инженерные технологии могут работать и в темноте, а вот жизнь не способна существовать без света: он нужен флоре и фауне. Значит, в Ковчеге должен быть аналог Солнца. Отметим, вечных ламп нет. Если освещение отключится, Ковчег погрузится во тьму, и всё живое, кроме простейших, погибнет. Следовательно, производство (и ремонт) вышедшего из строя энергетического оборудования, осветительных приборов на борту и других устройств относится к критически важным технологиям, без реализации которых миссия панспермии станет невозможной.

По прибытии в звёздную систему экзопланеты (в точки Лагранжа, а не на саму экзопланету) понадобятся посадочные модули, способные садиться на планету и возвращаться, выбираясь из её гравитационного колодца, обратно к Ковчегу. Соответственно, эти модули, как и запасы топлива и рабочего тела для них, также необходимо иметь на борту Ковчега.

Маловероятно, что экзопланета будет готова к заселению земными организмами (в частности, её атмосфера, в которой должно быть порядка 20 % кислорода и 80 % инертных газов, безопасных для метаболизма). На корректировку атмосферного состава экзопланеты могут уйти тысячелетия, поэтому экипажу Ковчега, прибывшего с Земли, следует в первую очередь развернуть в точках Лагранжа системы «Звезда – экзопланета» космическую индустрию из местного сырья и энергии местной звезды. И лишь затем начать освоение экзопланеты. Базовые инженерные технологии и оборудование, предназначенные для выполнения миссии, также нужно доставить с Земли на борту Ковчега. Кроме того, добыча сырья с планет звёздной системы будет слишком энергозатратной, ведь чем массивнее планета, тем сложнее на неё садиться и затем взлетать. Значит, добыча минеральных ресурсов должна осуществляться из местных астероидов и небольших небесных тел.

Биосферная безопасность. Поскольку цель межзвёздных полётов – экспансия человечества и земной жизни в дальний космос, то лететь нужно не в обычном космическом аппарате, а в ЭКД-Ковчеге [10, 16]. В нём на несколько тысяч жителей, т. е. в небольшом социуме типа сельского поселения, будет воссоздана лучшая часть земной биосферы со всеми необходимыми природными условиями: атмосферой, разнообразием ландшафтов, жилых организмов, почв, биогеоценозов, водных экосистем и др. Будут также обеспечены самые комфортные физические условия: оптимальная гравитация (с помощью центробежных сил), освещённость в естественном спектре, воздушная атмосфера (с оптимальными составом, температурой, давлением, лажностью, содержанием кислорода) и др.

Таким образом, экипаж Ковчега в течение многих тысяч лет, из поколения в поколение, будет находиться внутри замкнутой экосистемы земного биосферного типа, характеризующейся естественным круговоротом веществ и энергии, оптимальным для проживания человека субтропическим климатом. Здесь будет генетически разнообразное «население» – миллионы видов лучших представителей живых организмов, тщательно отобранных из миллиардов (если не триллиона [21]) существующих на Земле видов, взятых из всех царств Живой Природы: бактерий, вирусов, грибов, растений и животных.

Следовательно, в космическом доме необходимо смоделировать в миниатюре биосферу планеты Земля – колыбели человека с историей живой эволюции, насчитывающей миллиарды лет, в том числе предшествующей *Homo sapiens* и записанной в его генах. Надлежит представить во всём

многообразии флору и фауну благоприятных для жизни человека климатических зон Земли, откуда мы происходим своими корнями (например, в нашей крови шумит древний океан – её минеральный состав полностью соответствует составу его воды), а также микрофлору и микрофауну – почвенный биогеоценоз с тысячами видов ассоциаций агрономически ценных аэробных и анаэробных микроорганизмов. Такая почва будет более плодородной, чем тучный чернозём, при этом в ней должен трудиться и «инженер плодородия» – земляной червь многих видов в количестве не менее 100 шт/м^2.

Плодородная почва в земной биосфере по своей сути является её иммунной системой и залогом здоровья всех живых организмов, включая человека. В килограмме такой почвы проживает около триллиона микроорганизмов. Без неё в Ковчеге невозможно создание комфортных и безопасных условий для флоры и фауны, в том числе для экипажа, а также для микрофлоры и микрофауны в почвенной и водной средах.

В почве начинается и заканчивается пищевая цепочка круговорота биосферного живого вещества. Например, основа иммунной системы человека – микрофлора и микрофауна его кишечника, которая считается почвенной. Там живут десятки триллионов микроорганизмов тысяч видов. Они денно и нощно трудятся: кормят, поят и даже лечат нас. Неспроста многие специалисты называют содержимое нашего кишечника вторым мозгом.

Минеральные (кроме радиоактивных) и органические отходы (в том числе канализационные стоки), образующиеся в Ковчеге, с помощью микроорганизмов перерабатываются в биогумус, который возвращается в почву. Через производство жидкого и рассыпчатого биогумуса и его возврат в почву будет обеспечен круговорот в Ковчеге всех веществ (вода, кислород, углекислый газ, пища для флоры и фауны, включая человека), необходимых для жизнедеятельности его биосферы, а также утилизация отходов жизнедеятельности всех организмов, в том числе в случае их смерти, и др.

В биосферной части Ковчега (рисунок 1, зона 1.1) должен быть установлен оптимальный гомеостаз на всех уровнях организации сообществ живых организмов с учётом регуляции абиотических и биотических факторов, а также оптимальных биосферных трофических цепей и биологических ритмов. Без этого нереально добиться стабильности ценозов в Ковчеге в течение всего полёта, который может длиться тысячелетиями [22].

Перед запуском в дальний космос полностью снаряжённый Ковчег необходимо выдержать в карантине в течение одного поколения (20–25 лет) – для более тонкой настройки замкнутой экосистемы биосферного типа и находящегося внутри неё человеческого социума, чтобы выявить и исправить дисбалансы, в том числе отложенные во времени, которых в противном случае невозможно было бы избежать в течение последующего тысячелетнего путешествия.

Продовольственная безопасность. Годовая потребность экипажа, состоящего из 1000 человек, включая детей, в органической пище (крупы, хлеб, бобовые, картофель, овощи и бахчевые, свежие фрукты и ягоды, мясопродукты и рыба, молоко, яйца и др.) – около 700 тонн, или примерно 700 кг/чел. Современные интенсивные агротехнологии позволяют ежегодно выращивать в теплицах, в зависимости от культур, сельскохозяйственную продукцию в количестве 10–50 кг/м^2, что потребует в среднем до 50 м^2/чел посевных площадей.

Органическое земледелие, в том числе питание растений биогумусом (рассыпчатым и жидким), а животных – микрозеленью, произведённой в вертикальных фермах, и хлореллой, выращенной в прудах, потребует в ЭКД-Ковчеге большего количества плодородных угодий (почв и прудов) – около 100 м^2/чел, а с учётом потребности в пище сельскохозяйственных животных и аквакультур – около 150 м^2/чел. Ещё 50 м^2/чел необходимо для зон отдыха, прогулочных дорожек, детских площадок и других общественных мест. Таким образом, площадь жилой зоны 2.1 в Ковчеге (рисунок 1) должна составлять примерно 200 000 м^2.

Все горизонтальные поверхности в этой зоне, включая эксплуатируемые крыши жилых помещений и сельскохозяйственных ферм, должны быть заняты плодородной почвой и участвовать в биосферных процессах, в том числе в выработке кислорода и поглощении CO_2, а также в производстве органической пищи. Многоярусность размещения почв в вертикальных фермах Ковчега обеспечит не менее 500 м^2/чел продуцирующих почв, из которых около 10 % необходимо на производство кислорода (с учётом использования хлореллы), 50 % – для выращивания растительной пищи, 40 % – для животной пищи [22].

Ресурсная безопасность. Внутри Ковчега должен быть организован круговорот ресурсов (веществ), кроме энергетических: они теряются безвозвратно и переходят в тепловую энергию, которая в конечном итоге излучается в космос. Потери вещества, как неорганического, так и органического, следует минимизировать. Например, нецелесообразно хоронить в космосе усопших: невозвратные биосферные потери в органическом веществе за тысячи лет путешествия могут составить в этом случае десятки тысяч тонн.

Живое (биосферное) вещество в Ковчеге – это преимущественно плодородная почва, составленная из биогумуса, т. е. нерастворимых солей гуминовых кислот, со всем необходимым набором макро-, микро- и ультрамикроэлементов и ассоциаций из тысяч видов агрономически ценных почвенных аэробных и анаэробных микроорганизмов, вступающих в сложнейший симбиоз с произрастающей на этой почве флорой. Без них, как и без земляного червя, любая самая плодородная почва становится мёртвой.

В Ковчеге должно быть достаточное количество биогумуса: исходя из минимального расчёта – не менее 10 т/чел. Со временем объём гумуса, как и в земной биосфере, может увеличиваться за счёт перехода части неорганического вещества Ковчега в органическое. Биогумус нужен не только для обеспечения плодородия; он, устилающий внутреннюю поверхность Ковчега, станет дополнительной защитой от космической радиации и метеоритных угроз.

Материалы и технологические (мёртвые) вещества будут представлены главным образом в виде воды, преимущественно в качестве рабочего тела для получения тормозного импульса у экзопланеты. Например, обосновано, что в одном из вариантов исполнения масса рабочего тела должна равняться 340 000 тонн при начальной снаряжённой массе Ковчега 540 000 тонн, т. е. масса Ковчега после торможения в звёздной системе экзопланеты составит 200 000 тонн (таблица 1).

Дополнительные запасы углерода (основной химический элемент в клетках живых организмов), а также макро-, микро- и ультрамикроэлементов будут сосредоточены (кроме биогумуса почв) в тысячах тонн бурого угля, ведь в него входит сбалансированная минеральная составляющая древних земных живых организмов (более 80 химических элементов), живших на Земле сотни миллионов лет назад, и энергия древнего Солнца, которую можно дополнительно использовать в генерации энергии на борту Ковчега.

По прибытии к экзопланете потребность в энергетических и минеральных ресурсах должна закрываться энергией звезды и ресурсами местных астероидов и малых небесных тел, поскольку такая космическая добывающая промышленность, создаваемая с нуля, будет менее энергозатратной и более эффективной, чем любая аналогичная планетарная индустрия. Так, глубина гравитационного колодца планеты, аналогичной Земле, превышает 6000 км (при условно неизменной величине гравитации, а не с реально уменьшающейся гравитацией по мере удаления от центра планеты), поэтому добывать ресурсы в «шахте» такой глубины и доставлять их на «поверхность» (в данном случае в ближний космос) нецелесообразно. Проще извлекать ресурсы открытым способом на поверхности, т. е. в ближнем космосе на местных астероидах для расположенной там же панспермической космической индустрии.

Главным энергетическим ресурсом для миссии космической панспермии станут ядерные и термоядерные материалы нашей Вселенной, а не, например, звёздная (солнечная) энергия, как полагает большинство исследователей, что также обосновано выше в разделе «Энергетическая безопасность».

Социальная безопасность. Каким должен быть человеческий социум в Ковчеге? Очевидно, что ни один из известных нам социальных укладов – первобытно-общинный, рабовладельческий, феодальный, капиталистический, социалистический или коммунистический – не подходит для межзвёздных перелётов в ограниченной популяции, находящейся в ограниченном по размерам и ресурсам замкнутом пространстве (чем это не социальная чашка Петри?).

Все известные социальные формы и уклады тем или иным образом строились вокруг различных видов плотского потребления. Особенно опасна для устойчивого развития доминирующая в сегодняшней земной цивилизации капиталистическая форма социального устройства. Капитализм в стремлении к прибыли, максимизации потребления всего и вся и доминированию в глобальном управлении неизбежно приводит к крайностям: разрушению семьи, личности и других основополагающих общечеловеческих жизненных ценностей. Восьмимиллиардное земное человечество – цивилизационное достижение, а не трагическая ошибка, как это хотят преподнести нам, землянам, капиталистические ультраглобалисты, проповедующие идею «золотого миллиарда». Именно извращённое представление общества потребления о человеческой физиологии влечёт за собой ЛГБТ, смену пола и даже каннибализм, что делает подобный социум нежизнеспособным и становится причиной его гибели, причём в краткосрочной (по историческим меркам) перспективе.

В космическом Ковчеге не только необходимо генетическое разнообразие миллионов видов живых организмов, но и требуются специалисты многих профессий одного разумного вида, снарядившего такую сложнейшую в исполнении и функционировании экспедицию, – *Homo sapiens*.

ЭКД-Ковчег представляет собой земную биосферу в миниатюре и является сложнейшим автономно существующим в течение тысяч лет летательным аппаратом со всеми цивилизационными достижениями: своей энергетикой, двигателями, запасами топлива и исчерпаемых ресурсов (не участвующих в биосферном круговороте), инженерными коммуникациями, ремонтной базой, жилым и производственным фондом, агротехникой, агро- и аквакультурами, детским садом, школой и университетом, лечебными и сервисными заведениями и др. То есть в Ковчеге будут необходимы высококвалифицированные специалисты не менее 100 направлений, причём не только во время старта, но и после многотысячелетнего путешествия.

Устойчивый социум, как, например, и малые племенные народы и этносы, пронёсшие через тысячелетия свои обычаи, традиции, культуру, образ хозяйствования и другие национальные особенности, насчитывает не менее 1000–2000 человек. В Ковчеге, в отличие от племени, где для управления достаточно вождя, жреца или шамана, должны присутствовать все цивилизационные достижения современного человечества: наука (исследовательские лаборатории и проектно-конструкторские бюро), образование (дошкольное, школьное и высшее), искусство, спорт, медицина, производство (промышленное, ремонтно-восстановительное и сельскохозяйственное) и др. Социум Ковчега должен быть устойчивым, способным к саморазвитию и совершенствованию, и при этом не религиозным, а разумно инженерным. Возможно, наилучшая организационная форма социума – в виде русских общин или еврейских кибуцев.

Такой социум должен иметь свой устав (конституцию, законодательство), которому нужно чётко следовать тысячи лет полёта, где всё, абсолютно всё, продумано оптимально, с ювелирно выполненной тонкой настройкой: физической, социальной, духовной и нравственной. Например, при средней продолжительности жизни 100 лет и населении 1000 жителей за 10 000 лет умрут 100 000 человек, однако Ковчег при этом не должен превратиться в сплошное кладбище. Значит, необходимы свои обычаи, ритуалы и законы в похоронном деле. Кроме того, важно долголетие каждого человека и его способность заботиться о собственном здоровье, поэтому при формировании экипажа Ковчега нужно в том числе отдавать предпочтение людям, генетически, духовно и нравственно предрасположенным к долгожительству.

Социум – это особый общественный организм, который также должен быть оптимизирован с помощью социальной инженерии. Его нужно не перенести с материнской планеты, а создать в Ковчеге в наилучшем виде с нуля. На самом деле все общественно-экономические формации на Земле построил не человек разумный (инженер), а шаман, жрец, политик, полководец, чиновник, бизнесмен – им важнее не развитие социума как такового, а использование его для усиления собственной власти, личного богатства и процветания.

Земная социальная инженерия – язык общения (информационная инженерия), 10 заповедей Божьих (социальная инженерия), 12 положений «Морального кодекса строителя коммунизма» (идеологическая инженерия) и др. – направлена скорее на сохранение социума, чем на его развитие. И даже указанный кодекс строителя коммунизма, за основу которого взяты религиозные заповеди, – это строительство очередного процветающего «улья» или «муравейника», но никак не воспитание социально ориентированного разумного жителя космического дома по имени Планета Земля [23, 24].

В Ковчеге можно вернуться к своим цивилизационным истокам. Например, зачем там современная одежда и обувь? Ведь они тысячи раз истлеют и сотрутся за тысячи лет космического путешествия. Зачем там ткацкие станки, швейные фабрики и сапожные мастерские? В субтропиках Ковчега, где будут обеспечены оптимальные природно-климатические условия и созданы ухоженные поля и пешеходные дорожки без ядовитых змей и битого стекла, можно ходить в набедренных повязках или простейших накидках и босиком.

В Ковчеге необходимо сохранять баланс – развитие закрытого социума не должно быть направлено против него же (например, недопустимы преступность, терроризм, наркомания и др.). Что «хорошо» и что «плохо» для социума, на самом деле давно прописано в религиозных заповедях (возможно, внеземными разумными цивилизациями, посещавшими Землю) – в тех же 10 заповедях христианства [25], которые можно свести к определённым постулатам: «Через Слово Божье и участие в богослужениях Церкви организовать свою жизнь: семья, работа, интересы, увлечения, отношения с людьми, отношение к жизни во всех её проявлениях – всё организовывается и устраивается через заповеди Божьи. Борьба с греховными привычками и страстями. Традиционные семейные ценности...» [26].

Информационная безопасность. После того как произойдёт старт первого Ковчега, через определённый промежуток времени (например, через год) от Земли отправится второй Ковчег с тем расчётом, чтобы в пункт назначения он прибыл одновременно с первым, т. е. он должен двигаться с несколько большей скоростью. При этом в Ковчеге-2 будут устранены недоработки Ковчега-1, ставшие известными в процессе радиообмена, и внесены важные дополнения и улучшения, полученные в результате прогресса земного человечества за прошедший год. Таким образом, к экзопланете в конечном итоге полетит вереница из сотен и даже тысяч Ковчегов. Это обеспечит успешность миссии на этапе сверхдлительного путешествия, так как при постоянном радиообмене поступит актуальная информация и осуществится взаимовыручка, а в случае необходимости к терпящему бедствие космолёту из ближайшего Ковчега (впереди или сзади летящего) на физическую выручку отправится челнок, которым будет снабжён каждый Ковчег (такой челнок нужен и для посадки на экзопланету).

Следовательно, места назначения достигнут одновременно все Ковчеги с общим населением в миллионы человек, с земной технологической мощью, без чего невозможна колонизация экзопланеты. Космические корабли во время путешествия будут находиться в пределах радиовидимости, в том числе со своей родной планетой, поэтому им будут известны любые нюансы технологического, нравственного и духовного развития материнской цивилизации. Во время движения каравана Ковчегам благодаря радиосвязи друг с другом и материнской земной цивилизацией станет доступна вся актуальная информация, необходимая для прогресса миссии.

Искусственный интеллект (ИИ) послужит важной составляющей космической панспермии, и именно слугой, а не хозяином этой миссии. ИИ – всего лишь машина по обработке и генерации информации, значит, он должен выполнять в социуме Ковчега функцию, которую осуществляет подсознание в организме человека. На наше подсознание возложено управление всеми системами, органами, тканями и клетками человеческого тела (а их около 50 трлн!), поскольку сознание не способно обработать такое количество информации. И как подсознание управляется сознанием, так и ИИ в Ковчеге должен управляться коллективным разумом социума, сложенного из личностей экипажа межзвёздного корабля.

Послесловие (философские рассуждения инженера)

Здесь можно возразить автору, что его некоторые прогностические построения и инженерные расчёты вроде и не вызывают особых сомнений, однако носят прямолинейный характер, так как основаны на современных знаниях. Логично предположить открытие если не в ближайшем, то в отдалённом будущем неведомых нам сегодня видов энергии, средств связи, телепортации материальных объектов, методов обратимой консервации человека на длительные сроки, безопасного клонирования, создания способных к репликации роботов и др. Точки бифуркации и резких изломов на уже известном векторе нашего цивилизационного развития связаны именно с важнейшими открытиями и изобретениями: рычаг, колесо, порох, компас, паровая машина, телескоп, микроскоп, электричество, радио, телевидение, автомобиль, самолёт, ракета, антибиотики, вакцины, пластмассы, компьютер, роботы, мобильная связь, интернет, ИИ, иное.

Да, это верно, но есть один нюанс: все указанные, а также будущие изобретения и открытия никоим образом не противоречат нашим сегодняшним знаниям – все они состоялись потому, что не отменяли таких фундаментальных законов (знаний), как наличие и сохранение свойств пространства, времени, материи, гравитации, энергии, импульса и др. В нашей Вселенной никогда не будут нарушены эти законы – подобного не дождутся даже потомки современных фантастов и футурологов и через миллионы и миллиарды лет, поскольку в противном случае наша Вселенная станет совсем иной, с совершенно другими законами. Если такое и случится, то человеческой цивилизации там точно не будет: она исчезнет, как исчезнут и сама Материя, Пространство и Время, потому что окажется разрушенной тонкая настройка Мироздания – мы ведь созданы по законам именно нашей, а не какой-то иной, не исключено, и цифровой (где действительно возможно даже невозможное) Вселенной.

Наша колыбель – планета Земля – также является гигантским ковчегом, летящим вокруг центра галактики, которую рано или поздно земная человеческая цивилизация захочет освоить. Этот созданный Творцом ковчег движется по галактической орбите со скоростью 230 км/с (а не с околосветовой или сверхсветовой), подчиняясь известным нам законам физики, а не через кротовые норы, червоточины Морриса – Торна, порталы чёрных дыр или иные туннели в пространстве и времени. За миллиарды лет эволюции Вселенной все её свойства (характеристики), которые человек разумный назвал законами, однако же остались, их никто не изменил и тем более не отменил – ни внеземные цивилизации самого высокого уровня развития (если они, конечно же, есть), ни сам Творец. Так почему это удастся будущим земным учёным? Вера в подобное говорит о наивности и незрелости нашей цивилизации, столь юной по вселенским меркам.

Автор настоящего исследования – инженер, опирающийся именно на инженерные знания миллиардов предшественников, создавших перечисленные выше изобретения и открытия, а не фантазёр-философ, способный совершать полёты на Луну на пушечном ядре, гусях, воздушном шаре или силой мысли. Такие фантазии мало чем отличаются по своей практической реализуемости от той же телепортации – все они противоречат нашим современным фундаментальным знаниям, справедливым и для самого отдалённого будущего.

Никакие неведомые нам виды энергии, свойства материи, времени и пространства не отменят, например, известный сегодня закон сохранения импульса, из которого следует, что для того, чтобы разогнать какую-либо массу в пространстве, нужно отбросить часть этой массы с определённой скоростью в обратную сторону, опять же затратив определённую энергию. Соответственно, здесь автоматически соблюдается и другой закон – закон сохранения энергии, из чего следует ещё один закон сохранения: за счёт внутренних сил системы нельзя переместить её центр масс в пространстве. Именно поэтому центр масс любой снаряжённой ракеты, пусть даже фотонной, во время полёта неподвижен и остаётся на стартовом столе, так как одна часть ракеты (топливо в виде продуктов горения) полетела в одну сторону, а вторая часть (корпус) – в противоположную. Подобное поведение материи мы можем наблюдать и на бытовом уровне: если человек, находясь в лодке, пойдёт в одну сторону, то она поплывёт в другую и центр масс системы «человек – лодка» останется на месте.

Исходя из сказанного, можно утверждать, что телепортация материальных объектов в нашей Вселенной невозможна. Точнее, возможна, только в несколько модифицированном варианте: телепортируемый астронавт отправляется в путешествие в одну сторону (типа «из пушки на Луну»), а его клон, причём синхронно, – в противоположном направлении, тогда их общий центр масс, как и в межзвёздной ракете, останется на месте. Только кто и как затормозит их затем у цели (или всё будет по Илону Маску: «Хочу полететь на Марс, но мечтаю не разбиться о его поверхность при посадке»)? Ведь, как обосновано выше, чтобы «не разбиться о Марс», им придётся тащить всё необходимое с собой (и топливо, и рабочее тело) либо каким-то образом умудриться погасить импульс друг относительно друга через телепорт.

Эти неутешительные выводы – не более смелое заявление автора, чем, например, отрицание Н. Коперником общепризнанного в течение тысячелетий философского (но никак не инженерного) представления о геоцентрическом устройстве мироздания со звёздами, прикреплёнными к хрустальному куполу, в пользу гелиоцентрического мира.

Неразумная жизнь не способна освоить соседние звёздные системы и тем более галактику. Как неспособен это сделать и примитивный ИИ – по свой инженерной сути не имеющий никакого интеллекта быстродействующий калькулятор, порождение земного инженера-творца. Для того чтобы полететь в тысячелетнее путешествие с миссией цивилизационной панспермии, ИИ придётся взять с собой не только своего человека-создателя, но и всю земную индустрию в миниатюре (мини-техносферу), построенную человеком (а не самим ИИ), инженерным и материальным плодом которой он является.

Никакие носители информации и самые продвинутые, хоть и сверхсветовые, средства связи не заменят материальных носителей жизни и цивилизационного разума – флору и фауну, включая человека. Космическая цивилизационная панспермия возможна только напрямую, в виде перемещения в иные миры части земной биосферы, а не примитивных суррогатов её составных элементов, например человека, законсервированного (т. е. вырванного из биосферы) на длительные сроки, пусть и обратимо. Флору и фауну также придётся обратимо законсервировать? А если «консервы» за тысячи лет испортятся?

Не будет результативным решением и технология клонирования. Ведь богатство земной Живой Природы достигнуто именно благодаря разнообразию живых организмов, так как в биосфере всегда происходит рождение какого-либо нового организма, в чём и проявляется эволюция, но никак не точное дублирование (т. е. клонирование) какого-либо старого организма, что стало бы в длительной перспективе регрессом. Не решит проблему цивилизационной панспермии и создание способных к репликации роботов, поскольку в настоящем исследовании речь идёт о панспермии человеческой цивилизации, а не продвинутых роботов, пусть и с приставкой «био-».

Таким образом, описанная выше технология цивилизационной панспермии земной инженерной цивилизации – единственно инженерно разумная. Конечно, можно изменить размеры и форму космического Ковчега, можно использовать новые виды энергии и связи, однако это не изменит главного – Ковчег должен представлять собой мини-биосферу Земли во главе с человеческим инженерно ориентированным социумом, способным автономно существовать в течение тысячелетий, чтобы затем затормозить у экзопланеты. Для выполнения этой миссии следует иметь с собой все необходимые ресурсы, в том числе для последующего освоения экзопланеты, для чего, возможно, тоже потребуются тысячи лет.

Что в этом сверхъестественного и необычного (в отличие от телепортации или червоточин и кротовых нор в пространстве и времени)? Мы ведь также рождаемся, живём и умираем в биосфере космического ковчега по имени Планета Земля, летящего, причём без всякой цели, со скоростью 230 км/с вокруг гигантской чёрной дыры в центре нашей галактики. Полёт на такой же скорости, с особым предназначением – космической цивилизационной панспермией, на оптимально оборудованной мини-планете, более безопасной и комфортной, чем, например, небольшие, примитивные и хрупкие корабли Х. Колумба, без чёткой задачи отплывавшие в неизвестность, станет достойной миссией для тысяч энтузиастов в нашей многомиллиардной человеческой инженерной цивилизации (примерный конкурс на участие в миссии – 1 : 1 000 000).

Заключение

Цивилизации, которые вынесли инженерные технологии (индустрию) с родной планеты в ближний космос и стали осваивать ресурсы своей звёздной системы – пространственные, энергетические, минеральные и технологические (глубокий вакуум, невесомость и др.), относятся к одному типу: инженерной (индустриальной, технологической, технократической, техногенной – это синонимы) цивилизации – *Ingenium Civilization* (лат. *ingenium* – способность, изобретательность, гениальность, порождённые инженерным разумом).

Такие цивилизации могут иметь шесть уровней развития:

I уровень – освоение материнской планеты. У земной цивилизации на реализацию этого уровня развития потребовалось около 2 млн лет, начиная с изобретения первой инженерной технологии – костра, который создал фундамент для всех последующих теплотехнических технологий земной инженерной цивилизации: печь, котельная, паровая машина, двигатель внутреннего сгорания, турбина, реактивный двигатель, тепловая электростанция (в том числе атомная и термоядерная, если она когда-нибудь будет построена) и др.

II уровень – освоение материнской звёздной системы. Начиная со второй половины XXI в. земной человеческой цивилизации для этого потребуется несколько тысяч лет.

III уровень – освоение соседних звёздных систем, на что понадобятся миллионы лет, – со старта первых межзвёздных «Ноевых» Ковчегов из Солнечной системы уже в начале XXII в.

IV уровень – освоение материнской галактики (несколько сотен миллионов лет).

V уровень – освоение материнского скопления галактик (миллиарды лет).

VI уровень – освоение Вселенной, расширяющейся со световой скоростью, невозможно для инженерного типа цивилизаций, и тем более нереально изменение физических законов, способных уничтожить не только саму цивилизацию, но и всю нашу Вселенную из-за разрушения её тонкой настройки (в том числе в результате разрушения элементарных частиц и вещества, из них состоящего). Впрочем, в подобном нет необходимости: даже если такое и произошло в бесконечной во Времени и Пространстве Мультивселенной триллионы триллионов земных лет назад, то данное место уже давно было занято цивилизацией VI уровня. Это она изобрела сингулярность и Большой взрыв, а также осуществила тонкую настройку мироздания. И всё последующее, что появилось (родилось) в нашей Вселенной, в том числе земная жизнь и земная инженерная цивилизация, уже было предопределено. Именно поэтому инженерная человеческая цивилизация в клуб создателей Вселенных в Мультивселенной точно не попадёт – «В чужой монастырь со своим уставом не ходят».

Когда будет освоен термоядерный синтез и сконструированы плазменные двигатели, аналогичные солнечному ветру, но только с потоком ионизированных частиц водородно-кислородной плазмы, полученной из воды и истекающей со скоростью до 1200 км/с, время полёта до ближайшей звезды сократится до 1000 лет и наша цивилизация перейдёт на II уровень, а далее – на III, IV и V. Однако всё равно к звёздным системам, расположенным на расстоянии до 100 световых лет, даже с этой скоростью придётся добираться не менее 10 000 лет.

Несколько миллиардов атомов (десятки типов химических элементов с триллионами связей между ними) миллиарды лет назад собрались в сложную пространственную структуру, т. е. в молекулы ДНК (а те, в свою очередь, в клетки), – так появилась жизнь. Десятки миллиардов нейронов объединились в мозг, обросли триллионами связей – так появился разум и интеллект. Миллиарды человек собрались в общепланетарный социум (с триллионами триллионов связей между ними) – так появилась инженерная цивилизация. И не нужно искусственно уменьшать количество людей, живущих на планете, это будет почти такое же «благо» для цивилизации, как и сокращение

количества нервных клеток в мозге человека, например до их количества в мозге хомячка (приблизительно в тысячу раз меньше).

Таким образом, именно цивилизационная панспермия – вектор цивилизационного развития внеземных инженерных цивилизаций. Сформировавшись на одной из планет, Инженерный Разум просто обязан распространить себя на всю доступную мёртвую часть Вселенной, сделав её живой. Там хватит места и ресурсов для триллиона триллионов разумных существ, но никак не машин, в том числе ИИ. В этом, возможно, и была задумка цивилизации VI уровня развития: создав Вселенную с её пространственно-временным континуумом и тонкой настройкой – определёнными значениями фундаментальных констант, она смогла пройти, не погибнув, через сингулярность и Большой взрыв.

Следовательно, наша Вселенная с её тонкой настройкой и есть цивилизация VI уровня. Она как невидимая грибница, пронизывающая всё и вся и дающая видимое плодовое тело – жизнь – лишь на планетах с подходящими природно-климатическими условиями (для обычной грибницы – это наличие растений, с которыми она создаёт грибокорень, а также соответствующих грунтов и температурно-влажностной среды). Значит, появление жизни (а затем и разума) в нашей Вселенной было предопределено и Земле посчастливилось оказаться в числе планет, на которых сформировались необходимые для этого природно-климатические условия.

Список основных источников

1. *Внеземная цивилизация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Внеземная_цивилизация. – Дата доступа: 15.05.2024.*
2. *Зона обитаемости [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Зона_обитаемости. – Дата доступа: 20.05.2024.*
3. *Шкала Кардашёва [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Шкала_Кардашёва. – Дата доступа: 21.05.2024.*
4. *Шкала Каутца [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://protvagrad.livejournal.com/122914.html. – Дата доступа: 20.05.2024.*
5. *Бог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Бог. – Дата доступа: 01.06.2024.*
6. *Тонкая настройка Вселенной [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Тонкая_настройка_Вселенной. – Дата доступа: 17.06.2024.*
7. *Гравитационный колодец [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Гравитационный_колодец. – Дата доступа: 01.06.2024.*
8. *Сфера Дайсона [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Сфера_Дайсона. – Дата доступа: 27.05.2024.*
9. *Циолковский, К. Грёзы о Земле и небе и эффекты всемирного тяготения [Электронный ресурс] / К. Циолковский. – Режим доступа: https://www.tsiolkovsky.org/wp-content/uploads/2021/09/222-tsiolkovsky-gryozy-o-zeml-i-nebe-i-effekty-vsemirnago-tyagoteniya-wikiteka-doreformennyj-shrift.pdf. – Дата доступа: 28.05.2024.*
10. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.*
11. *Global Transportation System and Method for Placing a Payload into a Circular Orbit [Electronic resource]: pat. EP3831723C0 / A. Unitsky. – Publ. date 27.09.2023. – Mode of access: https://patents.google.com/patent/EP3831723B1/en. – Date of access: 06.06.2024.*
12. *Global Transportation System and Method for Placing a Payload into a Circular Orbit [Electronic resource]: pat. CN113195362B / A. Unitsky. – Publ. date 16.04.2024. – Mode of access: https://patents.google.com/patent/CN103963973A/en. – Date of access: 06.06.2024.*
13. *Второе начало термодинамики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Второе_начало_термодинамики. – Дата доступа: 06.06.2024.*
14. *Панспермия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Панспермия. – Дата доступа: 22.06.2024.*
15. *Точки Лагранжа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Точки_Лагранжа. – Дата доступа: 11.06.2024.*
16. *Юницкий, А.Э. Особенности проектирования жилого космического кластера «ЭкоКосмоДом» – миссия, цели, назначение / А.Э. Юницкий // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 51–57.*
17. *Гравитационный манёвр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Гравитационный_манёвр. – Дата доступа: 12.06.2024.*
18. *Ядерный ракетный двигатель [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Ядерный_ракетный_двигатель. – Дата доступа: 15.06.2024.*
19. *Першуков, В.А. Замкнутый ядерный топливный цикл / В.А. Першуков, Г.В. Тихомиров // Энергетический вестник. – 2023. – № 28. – С. 88–95.*
20. *Ионный двигатель [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Ионный_двигатель. – Дата доступа: 21.06.2024.*
21. *Передельский, Д. Подсчитано точное количество живых существ на Земле [Электронный ресурс] / Д. Передельский. – Режим доступа: https://rg.ru/2016/05/04/podschitano-tochnoe-kolichestvo-zhivyh-sushchestv-na-zemle.html. – Дата доступа: 27.06.2024.*
22. *Юницкий, А.Э. Трофические цепи и биологические ритмы как основа создания биосферы ЭкоКосмоДома / А.Э. Юницкий, О.В. Синчук // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 145–151.*
23. *Юницкий, А.Э. Цивилизационная ёмкость космического дома по имени Планета Земля / Анатолий Юницкий. – Минск, 2021. – 148 с.*
24. *Юницкий, А.Э. Инженерия. Мир как инженерный проект / Анатолий Юницкий. – Минск: СтройМедиаПроект, 2023. – 320 с.*
25. *Десять заповедей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Десять_заповедей. – Дата доступа: 30.06.2024.*
26. *Десять заповедей Божьих – как жить по ним сегодня [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rokmp.de/wp-content/uploads/2018/03/Памятка-10-заповедей.pdf. – Дата доступа: 30.06.2024.*



УДК 351.75+629.78

Обеспечение общественной безопасности при строительстве и эксплуатации общепланетарного транспортного средства

О.М. Зарецкий

uScovery DMCC,
г. Дубай,
Объединённые
Арабские Эмираты

Рассмотрены вопросы обеспечения общественной безопасности при строительстве и эксплуатации общепланетарного транспортного средства (ОТС): охрана общественного порядка, недопущение войны и актов терроризма, безопасность при чрезвычайных ситуациях, первичная медицинская помощь и санитарно-эпидемиологическая безопасность.

Представлены варианты организации такой деятельности на территории полосы пролегания эстакады ОТС: сформулированы ключевые задачи, стоящие перед органами, отвечающими за обеспечение общественной безопасности и поддержание общественного порядка на транспортно-инфраструктурном объекте протяжённостью более 40 000 км, рассчитана их предполагаемая численность, предложены организационно-штатная структура, подчинённость и правовой статус. В свете роста числа стран-участниц и международного влияния БРИКС сделан вывод, что на основе кооперации членов БРИКС целесообразно сформировать международные силы по обеспечению общественной безопасности ОТС; приведены их структура, задачи, способы комплектования и финансирования.

Важность статьи заключается в решении проблем, которые могут оказать критическое влияние на саму возможность создания ОТС даже при принятии принципиального решения о его строительстве. Умелое управление рисками, связанными с вопросами общественной безопасности, готовность к отражению различных угроз, своевременное реагирование на возникающие инциденты и аварийные ситуации, а также ликвидация их последствий являются главными составными частями деятельности по управлению строительством и эксплуатацией ОТС, обуславливающими в целом успех программы «ЭкоМир».

Ключевые слова:
общепланетарное транспортное средство (ОТС), общественная безопасность, общественный порядок, полоса отвода.

UDC 351.75+629.78

Ensuring Public Safety During Construction and Operation of General Planetary Vehicle

O. Zaretskiy

uScovery DMCC,
Dubai, United Arab Emirates

This article addresses the critical issues related to public safety during both the construction and operation of the General Planetary Vehicle (GPV). Key areas include maintaining public order, preventing warfare and acts of terrorism, ensuring safety during emergencies and providing primary medical care as well as sanitary and epidemiological safety.

The study outlines various strategies for organizing these activities along the GPV overpass. It identifies the main tasks for bodies responsible for public safety and order across a transport and infrastructure facility spanning over 40,000 km, estimates the number of personnel required, proposes an appropriate organizational structure, hierarchy and legal framework. Given the increasing number of member countries and the expanding global influence of BRICS, the article concludes that forming an international force for the GPV public safety would be a reasonable solution. This international force would be built on the cooperation of the BRICS members. The paper presents its structure and objectives as well as staffing and financing mechanisms.

The significance of this study lies in its examination of factors that could critically impact the feasibility of constructing the GPV, even after an initial decision to build one. Effective management of public safety risks, preparedness for various threats as well as rapid response to incidents, emergencies and their consequences are essential components of the GPV construction and operation management that contribute to the overall success of the EcoSpace program.

Keywords:
General Planetary Vehicle (GPV), public order, public safety, right-of-way.

Введение

Строительство и эксплуатация геокосмического транспортно-инфраструктурного комплекса протяжённостью более 40 000 км, проходящего по территории 11 стран, основным структурным элементом которого станет самонесущий летательный аппарат массой в десятки миллионов тонн – общепланетарное транспортное средство (ОТС), несомненно, будет самым масштабным и сложным проектом в задокументированной истории [1].

Никогда раньше представители разных национальностей, а также многие государства не объединялись для реализации столь амбициозного проекта (стоимость около 3 трлн USD) в интересах развития всего человечества. Уже в глубокой древности люди понимали, что для достижения успеха в великих начинаниях необходимы не только технические знания, наличие материалов и инструментов, но и объединение народов с чётким видением общности целей, методов и правил. Всем известная ветхозаветная легенда о Вавилонской башне гласит, что разозлившийся Бог заставил людей говорить на разных языках и, судя по всему, вызванные этим конфликты, ссоры и непонимание остановили строительство [2]. Таким образом, можно предположить, что возведение Вавилонской башни могло быть первым упомянутым проектом, который не завершился из-за причин, связанных с вопросами организационного и общественно-поведенческого характера.

В любом крупном деле на протяжении истории человечества вопросы обеспечения общественного порядка и безопасности играли важнейшую роль и кардинально влияли на срок завершения, стоимость и конечные результаты проектов. Например, строительство Панамского канала в 80-х годах позапрошлого века было приостановлено и весь проект оказался на грани краха из-за расположения объекта вблизи малярийных болот, а также в связи с антисанитарными условиями нахождения рабочих и отсутствием своевременной медицинской помощи. Всё это привело к многотысячным жертвам. От болезней, несчастных случаев и беспорядков погибли около 25 000 человек [3].

В новейшей истории, даже в таком заорганизованном и централизованном государстве, каким был Советский Союз, игнорирование вопросов общественного порядка и безопасности часто являлось причиной не только задержки или полной остановки проекта, но и смерти людей. Беспорядки 1928 г. при строительстве Туркестано-Сибирской железной дороги или бунт военных строителей на Байконуре в 1992 г. мало кому известны, тем не менее они подчёркивают важность планирования как инженерно-технических и строительных работ, так и мероприятий по обеспечению общественного порядка и безопасности [4].

Как указывалось ранее, возведение и функционирование общепланетарного геокосмического комплекса не имеют исторических прецедентов ни в техническом, ни в общественном плане и характерны тем, что эстакада ОТС будет пролегать не только в районах с различными географическими, климатическими, этнографическими и демографическими условиями, но и в разных средах, т. е. по воде (озёра, моря и океаны) и суше, включая горы.

В районах предполагаемого расположения ОТС находятся участки со сложным горным рельефом, городская застройка, промышленные объекты, системы морских и сухопутных коммуникаций. Всё это, несомненно, заставит разработать соответствующие подходы к вопросам обеспечения общественной безопасности великого цивилизационного проекта, дающего шанс человечеству приступить к реальному освоению космического пространства.

При этом в строительство и эксплуатацию ОТС окажутся вовлечены, по самым скромным подсчётам, сотни тысяч инженеров и рабочих, имеющих гражданство разных стран, особые культурные, религиозные и бытовые уклады; и все они станут проживать и трудиться в районах не только малоосвоенных, но и часто труднодоступных. Эта огромная масса людей должна быть надёжно защищена от угроз, связанных с вопросами общественной безопасности, особенно учитывая тот факт, что некоторые участки ОТС расположатся на территориях с повышенной вероятностью природных аномалий и катастроф (Зондские острова, восточные регионы южноамериканского континента), с нестабильной политической ситуацией (южные районы Сомали, северо-восток Демократической Республики Конго (ДРК), горные области на границе Колумбии и Эквадора) и со сложной санитарно-эпидемиологической обстановкой (территория амазонской сельвы).

В рамках настоящей статьи невозможно осветить подробно все стороны и пути решения проблем обеспечения общественной безопасности. Вопросы организационно-штатной структуры и оперативной деятельности специальных органов, их размещения, материального снабжения и управления плотно увязаны с политическими, финансовыми и другими аспектами, детальное изучение которых может стать темой не одной научной работы. Тем не менее, поскольку основные технологические параметры объекта уже определены, а расположение и размеры полосы, занимаемой транспортной эстакадой ОТС, существенно не изменятся, можно предусмотреть наиболее значимые угрозы и риски, которые, вероятно, проявятся при строительстве и эксплуатации ОТС, и, соответственно, предложить принципиальные решения касательно обеспечения общественной безопасности данного проекта.

Понятие общественной безопасности в зоне размещения ОТС

Определение понятия общественной безопасности в различных источниках может различаться в зависимости от страны, автора или областей деятельности, к которым оно применяется, однако в целом нет больших расхождений. И в России, и на Западе трактовка схожа и фактически имеет одно и то же значение почти во всех источниках.

В Концепции общественной безопасности в Российской Федерации, утверждённой Президентом страны в 2013 г., под общественной безопасностью «понимается состояние защищённости человека и гражданина, материальных и духовных ценностей общества от преступных и иных противоправных посягательств, социальных и межнациональных конфликтов, а также от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» [5].

В западной модели общественной безопасности (англ. *public security* или *public safety*), как правило, даётся более общее определение: «функция правительств, которая обеспечивает защиту граждан, лиц на их территории, организаций и учреждений от угроз их благополучию и процветанию их сообществ» [6].

Относительно ОТС необходимо принять такую формулировку понятия, которая бы не только соответствовала общепринятым подходам, но и учитывала специфику проекта. Надо иметь в виду, что в данном случае речь идёт именно об общественной безопасности. Это обусловлено тем, что при строительстве ОТС фактически создаётся общность людей, включающая в себя различные социальные группы (строители и эксплуатанты, члены их семей, жители населённых пунктов, находящихся в зоне пролегания ОТС), расположенные на обособленной территории и объединённые целью достижения успеха проекта вынесения вредной части земной индустрии в космос в интересах всего человечества.

В связи с этим в настоящей статье предлагается понимать выражения «общественная безопасность» и «обеспечение общественной безопасности» применительно к проекту ОТС следующим образом. Общественная безопасность – это состояние комплексной защищённости всех людей, находящихся в зоне пролегания ОТС, от событий любого характера, которые могут причинить ущерб здоровью, безопасности и материальным ценностям, а также препятствовать руководству и персоналу ОТС в полной мере исполнять свои обязанности. Соответственно, обеспечением общественной безопасности проекта ОТС можно считать комплекс мероприятий по реагированию на различные риски, угрозы и события в военной, политической, общественной, природной и технологической областях и их предотвращению в целях создания условий для штатного функционирования геокосмического транспортно-инфраструктурного комплекса.

Поддержание общественного порядка на территории и в акватории полосы расположения ОТС является основным элементом, обеспечивающим общественную безопасность, нормальную жизнедеятельность людей и эффективную работу оборудования. Следует понимать, что общественный порядок в зоне ОТС – это схема поведения различных людей и деятельности органов, имеющих отношение к проекту, согласно системе законов, правил и требований, которые будут установлены в интересах соблюдения общественной безопасности в данной зоне.

Разбивка полосы отвода ОТС на зоны в интересах обеспечения общественной безопасности

Предполагается, что для обеспечения общественной безопасности на всём протяжении сухопутных и морских участков эстакады ОТС необходимо создать специальную полосу отвода ОТС, а именно участок поверхности, расположенный на линии экватора, предназначенный исключительно для строительства и эксплуатации геокосмического комплекса и размещения персонала, инфраструктуры и оборудования, которые имеют отношение к его строительству и функционированию.

Для того чтобы организовать беспрепятственную эксплуатацию ОТС, предотвратить несанкционированный доступ к транспортно-инфраструктурному комплексу, не допустить совершения актов вандализма и терроризма в отношении персонала, оборудования и имущества, полосу отвода по всей длине в широтном направлении нужно разделить на запретную зону (строго контролируемая), где непосредственно расположена взлётно-посадочная эстакада, и зону ограниченного доступа (контролируемая). Последняя будет включать в себя жилые кластеры для рабочего персонала, а также научные, промышленные и сельскохозяйственные предприятия (вновь образованные или попадающие в полосу отвода), чья деятельность прямо или косвенно ориентирована на обеспечение функционирования ОТС. Такие жилые, промышленные и аграрные районы, находящиеся в зоне ограниченного доступа, при своём развитии и росте будут связаны между собой транспортными линиями

и объединены в экваториальный линейный город (ЭЛГ) [7], созданный в логике земной инфраструктурной части всего геокосмического комплекса ОТС.

В запретной зоне, расположенной в центре полосы отвода, кроме взлётно-посадочной эстакады ОТС следует разместить здания, сооружения, оборудование и технику, имеющие прямое отношение к функционированию геокосмического комплекса. Ширина запретной зоны должна быть достаточной, чтобы при наличии строго контролируемого доступа, системы ограждений и технических средств охраны воспрепятствовать приближению посторонних лиц к эстакаде и наиболее важным элементам ОТС, а также предупредить непосредственное воздействие на них.

Общая ширина полосы отвода, включая запретную зону, может составлять 6–10 км (по 3–5 км с каждой стороны от ОТС) в зависимости от условий местности и военно-политической обстановки в регионе. Это позволит безопасно разместить работников и членов их семей, системы жизнеобеспечения и снабжения ЭЛГ, исключит приближение злоумышленников к транспортной эстакаде ОТС на расстояние возможного использования стрелкового оружия. Границы полосы отвода должны быть оборудованы заграждениями и техническими средствами сигнализации и охраны (рисунок 1).

Пропуск на территорию полосы отвода ОТС должен быть ограниченным и контролируемым. В запретную зону может допускаться только специальный персонал, непосредственно задействованный в эксплуатации, ремонте и обслуживании ОТС. Акватория полосы отвода также должна контролироваться силами обеспечения общественной безопасности, которые, учитывая нейтральный статус вод, будут обязаны гарантировать безопасность персонала и оборудования геокосмического комплекса и в то же время организовать судоходство через линию экватора в рамках международного морского права.

Для осуществления полноценного функционирования ОТС, в том числе для управления органами контроля и обеспечения общественной безопасности, всю полосу пролегания комплекса целесообразно разделить на континентальные и океанические зоны, которые в свою очередь следует разбить на операционные районы и участки. Для комплекса в целом, а также для каждой зоны, района и участка необходимо определить границы (зоны ответственности) и места расположения пунктов (центров) управления.

Всего предполагается создание двух континентальных зон (условные названия «Африка» и «Америка») и четырёх океанических (условные названия «Атлантика», «Океания», «Нусантара» (древнее наименование Индонезии [8]), «Махасагар» (хинди – महासागर – океан).

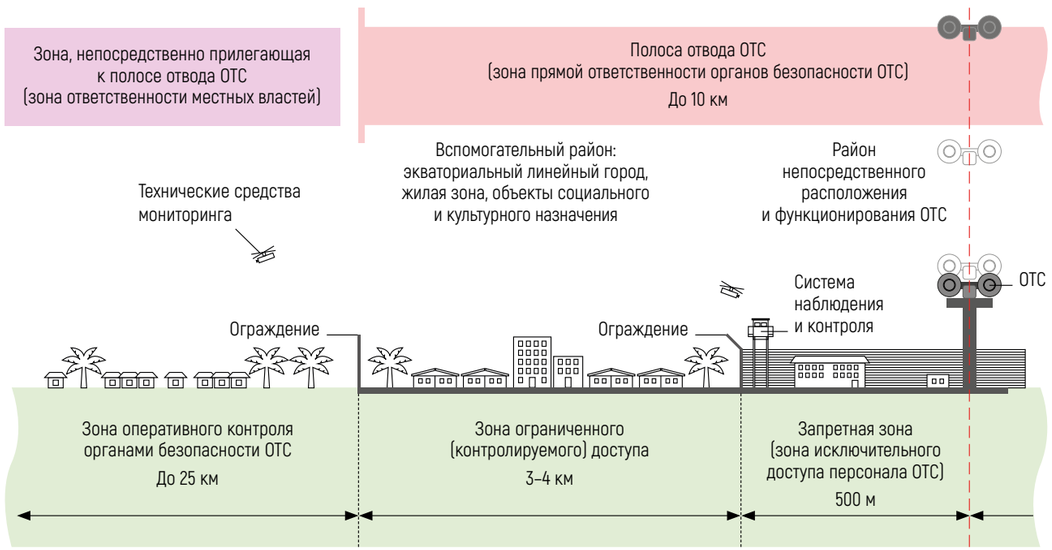


Рисунок 1 – Разделение полосы отвода ОТС на зоны в интересах обеспечения общественной безопасности проекта (вариант)

Зона будет включать от шести до десяти операционных районов. Район, в свою очередь, будет состоять из трёх-пяти операционных участков. В каждом операционном районе и участке планируется организовать своё управление (командование).

На рисунке 2 приведён вариант разделения полосы отвода на зоны в интересах общего управления и обеспечения общественной безопасности.

Континентальная зона «Африка» располагается вдоль экваториальной линии на Африканском континенте, имеет протяжённость 3730 км, проходит через территории Сомали, Кении, ДРК, Республики Конго, Габона.

Континентальная зона «Америка» располагается вдоль экваториальной линии на Американском континенте, имеет протяжённость 3426 км, расположена на территории Бразилии, Колумбии и Эквадора.

Из более чем 40 000 км линии ОТС, пролегающей по экватору, почти 33 000 км (около 80 %) проходят вне континентальных зон по водной поверхности или через островные архипелаги. Создание и действие морского компонента сил обеспечения общественной безопасности в океанических зонах – важная часть решения глобальной задачи успешного строительства и функционирования ОТС (рисунок 3).



Рисунок 2 – Разделение полосы отвода ОТС на континентальные и океанические зоны



Рисунок 3 – Разделение водных участков расположения ОТС на зоны в интересах соблюдения общественной безопасности

Как отмечалось выше, целесообразно разделить акваторию полосы размещения ОТС на четыре океанические зоны, располагающиеся вдоль линии экватора в Атлантическом, Тихом, Индийском океанах и на Зондском островном архипелаге (принадлежит Индонезии).

Океаническая зона «Нусантара» пересекает два крупнейших острова Зондского архипелага Суматру и Калимантан (протяжённость полосы отвода ОТС 460 км и 925 км соответственно) и множество средних и мелких островов, входящих в архипелаг и принадлежащих Индонезии. Остальные океанические зоны проходят через акватории океанов, пересекая небольшие архипелаги и острова: Сан-Томе и Принсипи в Атлантическом океане, острова Лайн в Тихом океане и Мальдивские острова в Индийском океане.

В целом деятельность по обеспечению общественной безопасности на море имеет ряд общих особенностей, которые следует учитывать при планировании работы в данной сфере на океанических участках расположения ОТС. Во-первых, значительная акватория таких зон, за исключением небольших районов, не входит в состав ни одной страны, и их использование регулируется Морской конвенцией ООН. Во-вторых, практически невозможно установить технические заграждения, препятствующие несанкционированному подходу судов и лодок непосредственно к эстакаде ОТС. В-третьих, по сравнению с сухопутными участками для оперативного перемещения сил и средств обеспечения общественной безопасности в случае необходимости потребуется больше времени в связи с увеличением дальности поездок.

Состав и численность сил обеспечения общественной безопасности ОТС

Учитывая специфику и масштабность проекта, важность единого подхода к выполнению различных задач по строительству и эксплуатации ОТС, территория (для сухопутных участков) и акватория (для океанических участков) полосы отвода должны будут находиться под общим и исключительным управлением главного руководства ОТС. Соответственно, за общественную безопасность в пределах полосы отвода будут отвечать силы обеспечения общественной безопасности ОТС, действующие по единым правилам и планам и подчиняющиеся главному руководству геокосмического комплекса. Такой подход позволит эффективно противостоять угрозам, оперативно реагировать на события, представляющие опасность для людей, оборудования и объектов инфраструктуры, находящихся в полосе отвода.

Для определения количества специалистов, необходимых для обеспечения общественной безопасности на рассматриваемых территориях, можно воспользоваться усреднёнными нормативами для охранно-контрольных мероприятий по защите границ и периметров, принятыми в различных государствах и организациях.

Общая длина сухопутных границ полосы отвода ОТС (южная и северная линии границы полосы), включая острова Индонезии, примерно равна 16 000 км (при 8000 км общей протяжённости полосы отвода, проходящей по суше). Исходя из того, что плотность охраны границы США и Мексики (при задействовании самых современных технических средств охраны и беспилотных летательных аппаратов) составляет 6,3 чел/км [9], для выполнения охранно-контрольных задач по периметру только сухопутных границ потребуется более 100 000 человек.

Оценивая количество людей, постоянно находящихся в полосе отвода ОТС, необходимо учитывать работников геокосмического комплекса (ориентировочно 200 000 человек [10]), членов их семей (200 000–400 000 человек), а также население, которое постоянно проживает на этой территории. На основании данных, приведённых в таблице, можно предположить, что в настоящее время в пределах будущей полосы отвода ОТС (в расчёт не взяты океанические зоны «Атлантика», «Океания» и «Махасагар», где население практически отсутствует) постоянно проживают более 4 млн человек.

Соответственно, общая численность людей, которые будут постоянно находиться в полосе отвода ОТС, составит около 5 млн человек. Исходя из количества сотрудников органов правопорядка в таких странах, как Россия и Китай (более 400 на 100 000 жителей [11]), только исключительно для поддержания общественного порядка на территории полосы отвода (без учёта океанических зон «Атлантика», «Океания» и «Махасагар») необходимо иметь ещё не менее 10 000 сотрудников.

Принимая во внимание, что в состав сил обеспечения общественной безопасности ОТС должны также входить морские силы, группы борьбы с пожарами и стихийными бедствиями, группы санитарно-эпидемиологического контроля и реагирования, а также персонал из структур управления, снабжения и логистики, можно предположить, что в целях обеспечения безопасности наземной части ОТС будет задействовано около 150 000 человек, порядка 1500 морских судов, катеров и других плавсредств (одно плавсредство на 20 км акватории), примерно 400 самолётов и вертолётов различного назначения (один летательный аппарат, в том числе беспилотный, на 100 км длины эстакады).

Таблица – Приблизительная численность населения, проживающего в пределах полосы отвода ОТС

Границы сектора		Страна	Плотность населения, чел/км² [12]	Усреднённая плотность населения на 1 км²	Длина сектора по экватору, км	Население полосы отвода ОТС, чел.
Запад	Восток					
Континентальная зона «Америка»						
80°06′ з. д.	79°38′ з. д.	Эквадор	41–100	70	60	42 000
79°38′ з. д.	78°36′ з. д.	Эквадор	101–500	300	113	339 000
78°36′ з. д.	78°11′ з. д.	Эквадор	41–100	70	45	31 500
78°11′ з. д.	77°47′ з. д.	Эквадор	11–40	25	43	10 750
77°47′ з. д.	75°34′ з. д.	Эквадор	2–10	6	250	15 000
75°34′ з. д.	71°34′ з. д.	Колумбия	2–10	6	450	27 000
71°34′ з. д.	70°01′ з. д.	Колумбия	≤2	1	170	1700
70°01′ з. д.	58°53′ з. д.	Бразилия	≤2	1	1250	12 500
58°53′ з. д.	52°59′ з. д.	Бразилия	2–10	6	650	39 000
52°59′ з. д.	51°30′ з. д.	Бразилия	≤2	1	165	1650
51°30′ з. д.	50°42′ з. д.	Бразилия	11–40	25	80	20 000
50°42′ з. д.	49°22′ з. д.	Бразилия	≤2	1	150	1500
Итого					3426	541 600
Континентальная зона «Африка»						
00°00′ в. д.	00°00′ в. д.	Габон	≤2	1	15	150
00°00′ в. д.	13°56′ в. д.	Габон	2–10	6	500	30 000
13°56′ в. д.	25°34′ в. д.	ДРК	2–10	6	1275	76 500
25°34′ в. д.	27°01′ в. д.	ДРК	11–40	25	160	40 000
27°01′ в. д.	29°46′ в. д.	ДРК	41–100	70	300	210 000
29°46′ в. д.	33°58′ в. д.	Уганда	101–500	300	460	1 380 000
33°58′ в. д.	34°52′ в. д.	Кения	101–500	300	100	300 000
34°52′ в. д.	35°30′ в. д.	Кения	≥500	500	100	500 000
35°30′ в. д.	35°55′ в. д.	Кения	101–500	300	50	150 000
35°55′ в. д.	39°05′ в. д.	Кения	41–100	70	350	245 000
39°05′ в. д.	40°57′ в. д.	Кения	11–40	25	200	50 000
40°57′ в. д.	41°29′ в. д.	Сомали	2–10	6	60	3600
41°29′ в. д.	42°56′ в. д.	Сомали	11–40	25	160	40 000
Итого					3730	3 025 250
Океаническая зона «Нусантара» (Индонезия)						
99°35′ в. д.	101°56′ в. д.	о. Суматра	101–500	300	155	465 000
101°56′ в. д.	103°47′ в. д.	о. Суматра	11–41	25	200	50 000
109°05′ в. д.	109°30′ в. д.	о. Калимантан	41–100	70	55	38 500
109°30′ в. д.	112°42′ в. д.	о. Калимантан	11–40	25	350	87 500
112°42′ в. д.	117°33′ в. д.	о. Калимантан	2–10	6	550	33 000
119°37′ в. д.	120°06′ в. д.	о. Сулавеси	41–100	70	60	42 000
Итого					1370	716 000
Всего					8526	4 282 850

Таким образом, силы обеспечения общественной безопасности ОТС по своей численности и технической оснащённости будут равны среднему размеру полноценных вооружённых сил государств на планете [13]. Значит, для их эффективного применения необходимо предусмотреть оптимальную организационно-штатную структуру и системы управления, финансирования, обеспечения, отвечающие характеру выполняемых задач, поставленных целей, особенностям условий, в которых предстоит действовать.

Исходя из сформулированных факторов, задач и численности, в составе сил обеспечения безопасности геокосмического комплекса, кроме центрального и территориальных командований и групп обеспечения тыла, связи, логистики, целесообразно иметь управления и группы комендантской и диспетчерской служб, поддержания общественного порядка и оперативного контроля, пожарной охраны, по борьбе с чрезвычайными ситуациями, а также санитарно-эпидемиологическое управление.

Кроме того, для выполнения задач морской службы в океанических зонах, учитывая её специфику, требуется создать морское управление, отвечающее за навигационное обеспечение, вопросы судовождения, морское базирование.

Основные задачи сил обеспечения общественной безопасности ОТС

Круг задач, стоящих перед органами (подразделениями, управлениями или компаниями), назначенными (законтрактованными) для обеспечения общественной безопасности, который можно сформулировать на текущем этапе разработки программы создания и функционирования ОТС, отражён на рисунке 4 и включает:

- комплексный мониторинг наземной, воздушной обстановки (для океанических зон – надводной и подводной), координационно-диспетчерская служба (для океанических зон – навигационно-диспетчерская);
- обеспечение пропускного режима людей, транспортных средств и грузов на территорию полосы отвода ОТС и запретной зоны, организация транзита через полосу отвода (комендантская служба);
- оценка рисков и оперативная деятельность по предотвращению угроз общественной безопасности в полосе отвода ОТС и на территориях, непосредственно прилегающих к ней;
- отражение нападений военного и криминального характера на объекты, расположенные в полосе отвода ОТС;
- предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера на территории полосы отвода ОТС, пожарная безопасность, борьба с пожарами, контроль за безопасным ведением работ и технический надзор;
- обеспечение общественного порядка и исполнения требований правил поведения на территории полосы отвода ОТС, предупреждение и пресечение правонарушений, проведение мониторинга;
- санитарно-эпидемиологический контроль в полосе отвода ОТС и на прилегающих территориях, проведение экстренных соответствующих мероприятий в очагах заражения.

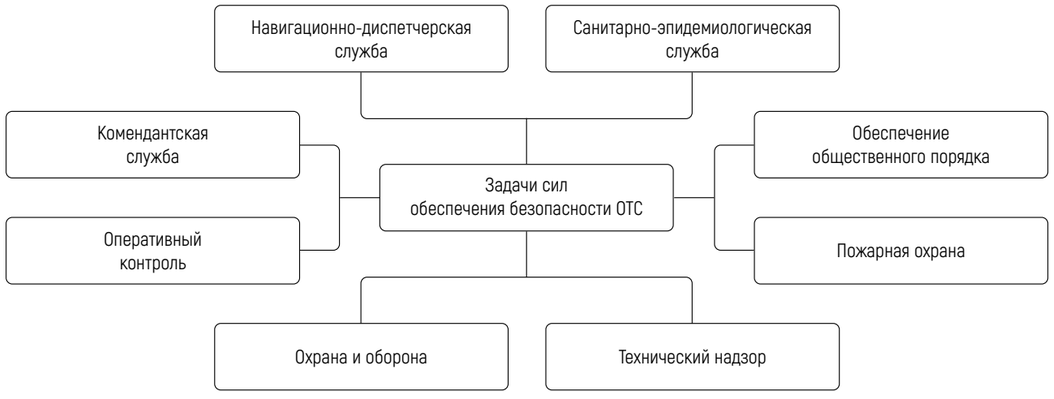


Рисунок 4 – Задачи сил обеспечения общественной безопасности ОТС

Все задачи, стоящие перед силами обеспечения общественной безопасности на территории полосы отвода ОТС, можно условно разделить на повседневную деятельность и реагирование на чрезвычайные ситуации (рисунок 5).

Особенности повседневной работы морского компонента сил, отвечающих за общественную безопасность ОТС, – организация движения морских судов через линию расположения транспортной эстакады (навигационно-диспетчерская служба), мониторинг подводной обстановки, метеорологическое наблюдение.

Особенностью действий сил обеспечения безопасности является то, что эстакада ОТС включает в себя транспортно-инфраструктурные грузопассажирские комплексы (скоростной и высокоскоростной) Струнного транспорта Юницкого (ЮСТ), следовательно, на сухопутных и океанических участках ОТС возможно быстрое перемещение значительных сил и средств на угрожаемые участки. Например, экстренная транспортировка большого количества людей и грузов с восточного на западное побережье Африканского континента по эстакаде ОТС займёт всего 7–9 ч. Таким образом, должны быть предусмотрены технические и операционные возможности для быстрой переброски людей, техники и оборудования на высокоскоростном (до 360 км/ч) подвижном составе ЮСТ, курсирующем внутри эстакады ОТС – под взлётно-посадочной полосой.

Варианты создания и комплектования сил обеспечения общественной безопасности ОТС

Поскольку силы, отвечающие за общественную безопасность ОТС, выполняют сложную и важную миссию, то управление ими, их комплектование и всестороннее обеспечение, с одной стороны, должно быть централизовано и построено по единым правилам, а с другой стороны, не может стать прерогативой одного государства, пусть даже такого влиятельного и сильного, как Китай, США или Россия. В связи с этим существующее политическое или военное объединение ряда стран способно служить эффективным инструментом для образования и функционирования системы обеспечения общественной безопасности проекта. Так, например, на базе Организации Объединённых Наций по мере необходимости формируются миротворческие силы. Решения об их создании, составе, использовании и финансировании принимаются Советом Безопасности ООН, а стратегическое руководство реализуется военно-штабным комитетом [14]. Кроме того, в рамках миротворческой и правоохранительной деятельности в конфликтных зонах присутствуют полицейские силы ООН (UNIPOL), насчитывающие 9000 полицейских, выполняющих обязанности по обеспечению безопасности и общественного порядка в странах с нестабильной обстановкой и внутренними конфликтами [15].

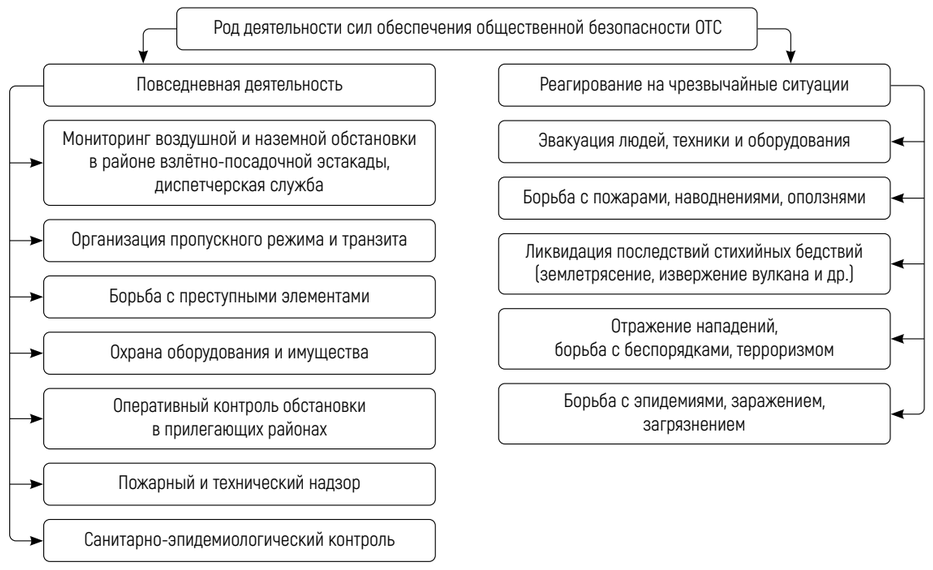


Рисунок 5 – Разделение задач, стоящих перед силами обеспечения общественной безопасности ОТС, по роду деятельности

Таким образом, при условии курирования проекта ОТС Организацией Объединённых Наций возможно создание сил обеспечения общественной безопасности на базе существующих миротворческих и полицейских сил ООН или посредством основания отдельного подразделения или комитета ООН. Однако нужно учесть, что силы ООН (как миротворческие, так и полицейские) никогда не отличались эффективностью своих действий. Не вдаваясь в причины, стоит отметить, что ООН как политическая организация в последнее время теряет доверие стран-участниц и авторитет на международном уровне [16]. Общепризнано, что, обладая практически неограниченными ресурсами, ООН не справилась со многими декларируемыми программами и начинаниями.

Альтернативным вариантом решения вопроса обеспечения общественной безопасности ОТС является делегирование соответствующих полномочий существующей или созданной под эгидой стран-участниц частной военно-полицейской компании. При этом частные военные компании (ЧВК), имеющиеся в настоящее время во многих странах мира, представляют собой коммерческие структуры, укомплектованные высококлассными специалистами и предлагающие услуги военного характера.

История знает немало примеров, когда частные организации успешно решали стратегические задачи, начиная от знаменитых Вест- и Ост-Индских компаний (Нидерланды, Великобритания), содержавших собственные армию и флот, и заканчивая современными Academi и Blackwater (США), «Вагнер» (Россия), G4S (Великобритания). Необходимо отметить, что в списках британской G4S числится около 800 000 сотрудников [17], а российская «Вагнер», в 2023 г. состоявшая из более чем 50 000 человек, была способна самостоятельно вести боевые действия оперативного уровня, имея на вооружении артиллерию, танки и самолёты. Практически все крупные ЧВК обладают практическим опытом в охране важных государственных и промышленных объектов, обеспечении безопасности персонала, противопожарной защите, авианаблюдении и разведке, охране морских путей и судов от пиратов и прочей противоправной деятельности, что близко по характеру к тем задачам, которые предстоит решать силам обеспечения общественной безопасности ОТС.

Вместе с тем надо понимать, что привлечение частной организации к осуществлению одной из важнейших миссий общецивилизационного проекта несёт в себе и некоторые риски, которые необходимо учитывать при принятии такого решения. Во-первых, до сих пор нет международно признанного определения правового статуса ЧВК и, как следствие, не ясен механизм регулирования их деятельности и ответственности [18]. Во-вторых, стоимость использования ЧВК для выполнения широкомасштабных задач на значительных территориях может быть высокой по сравнению с другими решениями и оказать критическое негативное влияние на финансирование проекта. И, наконец, всегда есть риск того, что обособленная ЧВК, пусть и формально подчиняющаяся главному руководству геокосмического комплекса, но координирующая все кадровые, организационные и финансовые вопросы внутри себя и в своих же интересах, может создать проблемы, ставя коммерческие амбиции выше приоритетов общественного проекта, каким является ОТС. Приведём некоторые подтверждающие примеры:

- британская Ост-Индская компания, будучи образованной в XVII в. правительством Великобритании для обеспечения торговой экспансии государства, уже в XVIII в. действовала больше в своих целях, что явилось причиной вмешательства властей в дела компании и в итоге привело к её упадку и закрытию [19];
- бунт ЧВК «Вагнер», фактически вышедшей из повиновения государству, что едва не закончилось катастрофой государственной власти в России, лишь подтверждает опасность привлечения вооружённых предпринимателей для выполнения важных общественных и государственных задач в долгосрочной перспективе.

С точки зрения автора, наиболее приемлемый вариант организации обеспечения общественной безопасности ОТС – создание международных сил на базе союза государств, имеющих непосредственный интерес в успехе проекта и способность его осуществить. В настоящее время особое политическое влияние приобретает объединение БРИКС, включающее девять государств (Бразилия, Россия, Индия, КНР, ЮАР, ОАЭ, Иран, Египет и Эфиопия). При этом 20 стран подали официальные заявки на приём в организацию и ещё 40 выразили намерение присоединиться. БРИКС отличает то, что государства-участники консолидируются на принципах невмешательства, равенства и взаимной выгоды [20]. Управление проектом ОТС в целом и формирование международных сил обеспечения общественной безопасности ОТС в частности может стать значительным шагом на пути к увеличению международного влияния БРИКС, росту авторитета и развитию отношений между народами нашей планеты.

Заключение

Общепланетарные масштабы, обширная занимаемая территория и огромное количество людей, так или иначе вовлечённых в проект ОТС или затронутых им в любой мере, не имеют прецедентов в мировой истории и требуют неординарных действий, совместных усилий всего человечества, невиданного ранее сотрудничества стран, народов, общин и социальных слоёв.

Строительство и штатная работа ОТС в значительной мере зависят не только от решения технических, коммерческих и операционных вопросов, но также и от обеспечения общественной безопасности. Это обусловлено наличием угроз и рисков, связанных с природными и человеческими факторами на всём протяжении эстакады ОТС и на всех этапах воплощения геокосмического комплекса в жизнь: от проектирования и строительства до плановой эксплуатации.

Анализ линии расположения ОТС показывает, что главными рисками общественной безопасности объекта являются возможные природные катастрофы (сейсмическая и вулканическая активность, наводнения, оползни, пожары), а также террористическая и другая враждебная деятельность, общественные беспорядки, различные преступления и правонарушения (в том числе экологического характера) непосредственно в границах полосы отвода ОТС и вблизи неё. Кроме того, значительную угрозу общественной безопасности могут представлять массовые заболевания, эпидемии и проблемы, связанные с санитарно-гигиеническими условиями.

Залог успеха при экстренных действиях – оперативное использование транспортной эстакады ОТС для переброски сил и средств на угрожаемый участок и накопления необходимой численности личного состава с целью отражения угрозы или ликвидации её последствий в кратчайшие сроки.

Комплектование и организацию сил обеспечения общественной безопасности ОТС целесообразно проводить на базе международного союза государств, каким является БРИКС. Члены организации имеют положительный опыт участия в международных проектах, способны выделить для поддержания общественной безопасности ОТС требуемое количество личного состава, техники, оборудования и имущества.

Таким образом, при должном подходе к обеспечению общественной безопасности ОТС, осуществлению своевременных мероприятий, направленных на оценку рисков и отражение угроз общественной безопасности, проект может успешно воплотиться и решить задачи общецивилизационного масштаба, которые ставят перед собой его организаторы. В то же время игнорирование данных вопросов сыграет негативную роль и отразится на сроках строительства и самой возможности нормального функционирования ОТС.

Список основных источников

1. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.*
2. *Бытие. Глава 11 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.patriarchia.ru/bible/gen/11/. – Дата доступа: 19.07.2024.*
3. *Klein, C. Why the Construction of the Panama Canal Was So Difficult – and Deadly [Electronic resource] / C. Klein. – Mode of access: http://www.history.com/news/panama-canal-construction-dangers. – Date of access: 19.07.2024.*
4. *Как на космодроме Байконур взбунтовался стройбат [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://weekend.rambler.ru/read/52812364-kak-na-kosmodrome-baykonur-vzbuntovalsya-stroybat/. – Дата доступа: 19.07.2024.*
5. *Концепция общественной безопасности в Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.kremlin.ru/acts/news/19653. – Дата доступа: 19.07.2024.*
6. *Общественная безопасность [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://dbpedia.org/page/Public_security. – Дата доступа: 19.07.2024.*
7. *Юницкий, А.Э. Экваториальный линейный город: особенности строительства / А.Э. Юницкий, М.М. Давыдик // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы IV междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 18 сент. 2021 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2022. – С. 101–115.*
8. *Evers, H.-D. Nusantara: History of a Concept / H.-D. Evers // Journal of the Malaysian Branch of the Royal Asiatic Society. – 2016. – Vol. 89, pt. 1, No. 310. – P. 3–14.*
9. *Шумов, В.В. Модель обоснования направлений сосредоточения усилий пограничной охраны на уровне государства / В.В. Шумов // Компьютерные исследования и моделирование. – 2019. – Т. 11, № 1. – С. 187–196.*
10. *Unitsky, A. System Foundations of Non-Rocket Near Space Industrialization: Problems, Ideas, Projects / A. Unitsky. – Minsk: Gradient, 2021. – 568 p.*
11. *Список стран по численности полиции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_стран_по_численности_полиции#cite_ref-eurostat_3-0. – Дата доступа: 19.07.2024.*

12. *Интерактивная карта плотности населения Земли [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://clipground.com/images/png-population-density-3.png. – Дата доступа: 19.07.2024.*
13. *Средний размер армии в мире составляет 148 тысяч человек [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ria.ru/20240223/armiya-1929107398.html. – Дата доступа: 19.07.2024.*
14. *Военно-штабной комитет ООН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://webarchive.unesco.org/web/20160903050546/https://www.un.org/sc/suborg/ru/subsidiary/msc. – Дата доступа: 19.07.2024.*
15. *Полиция ООН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://peacekeeping.un.org/ru/un-police. – Дата доступа: 19.07.2024.*
16. *Сигов, Ю. Почему ООН всё чаще обвиняют в неэффективности [Электронный ресурс] / Ю. Сигов. – Режим доступа: https://www.ng.ru/kartblansh/2020-09-14/3_7963_kartblansh.html. – Дата доступа: 19.07.2024.*
17. *Самые известные ЧВК в мире. Инфографика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rtvi.com/stories/samye-izvestnye-chvk-v-mire-infografika/. – Дата доступа: 19.07.2024.*
18. *О частных военных компаниях в США [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://mid.ru/ru/foreign_policy/international_safety/1896217/. – Дата доступа: 19.07.2024.*
19. *Фурсов, К.А. Ост-Индская компания. История великого олигарха / К.А. Фурсов // Новое время. – 2001. – № 2-3. – С. 40–43.*
20. *Овчинников, Е.А. БРИКС и новая роль России на международной арене / Е.А. Овчинников // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. – 2015. – № 9-3. – С. 170–172.*



УДК 008.2+629.7

Программа «ЭкоМир» как основа и горизонт трансформации доминирующей социально-экономической модели

А.Э. Юницкий[1, 2]
доктор философии транспорта

Е.О. Петров[2]

[1] ООО «Астроинженерные технологии», г. Минск, Беларусь

[2] ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Беларусь

Раскрывается целеполагание программы «ЭкоМир» через понятие ноосферы. Рассмотрены подходы к определению содержания этого термина в литературе. Представлена оценка возможностей перехода к состоянию ноосферы посредством воплощения данного глобального проекта, предложенного белорусским инженером, изобретателем и визионером А.Э. Юницким. Подробно проанализированы обобщения российского учёного Ф.Т. Яншиной относительно условий становления ноосферы с точки зрения их соблюдения в ходе выполнения крупномасштабной программы. Особо отмечена важность предотвращения неравенства и войн в контексте осуществления заявляемых школой Юницкого планов. Продемонстрирована неспособность капиталистической системы устранить внутрицивилизационные конфликты в качестве основополагающего компонента социальной жизни. Очерчены контуры выстроенного на базе реализации элементов программы «ЭкоМир» социально-экономического строя – особого пути, отличного как от капиталистических, так и от коммунистических подходов.

Ключевые слова:
государство, линейные города, ноосфера, общество, собственность, труд.

UDC 008.2+629.7

EcoSpace Program as Basis and Horizon for Transformation of Dominant Socioeconomic Model

A. Unitsky[1, 2]
Dr. of Philosophy in Information Technologies (Transport)

E. Petrov[2]

[1] Astroengineering Technologies LLC, Minsk, Belarus

[2] Unitsky String Technologies Inc., Minsk, Belarus

The article reveals the goal-setting of the EcoSpace program using the concept of noosphere. The approaches to defining the content of this term in the literature are considered. An assessment of the possibilities of transitioning to the state of the noosphere through the implementation of this global project, proposed by the Belarusian engineer, inventor and visionary A. Unitsky, is presented. The generalizations of the Russian scientist F. Yanshina regarding the conditions for the noosphere formation are analyzed in detail in terms of their compliance during the implementation of the large-scale program. The importance of preventing inequality and wars in the context of realizing of the plans proclaimed by the Unitsky School is emphasized. The inability of the capitalist system to eliminate intracivilizational conflicts as a fundamental component of social life is demonstrated. The contours of the socioeconomic system built on the implementation of the EcoSpace program elements are outlined – a unique path distinct from both capitalist and communist approaches.

Keywords:
labor, linear cities, noosphere, property, society, state.

Введение

Разработанная белорусским инженером, изобретателем и визионером А.Э. Юницким программа «ЭкоМир» предполагает существенное переустройство социально-экономической реальности на основе внедрения и масштабирования ряда природоориентированных технологических решений. Этот проект не призывает к переделу собственности, установлению тех или иных новых законов, перекройке карты мира и др. Вопрос ставится совершенно иным образом, чем это привычно в европейской интеллектуальной традиции. Изменения планируется начинать не сверху, а с базы – с распространения в повседневности нового транспорта, новых форм расселения людей, новой энергетики и нового сельского хозяйства, которые получили общее определение «биосферные технологии» [1].

Представители школы Юницкого уверены, что применение предлагаемых ими решений способно повлиять на социальный мир так же, как когда-то изобретение плуга привело к переходу от кочевого к оседлому образу жизни или как машинное производство стимулировало переход от феодализма к капитализму.

В области транспорта программа «ЭкоМир» подразумевает развитие эстакадных высокоскоростных перевозок на базе Струнных технологий Юницкого (ЮСТ). Следствием этого становится снижение стоимости поездок, увеличение безопасности и скорости движения (до 360 км/ч), расширение зоны транспортной доступности, сохранение естественных ландшафтов и биогеоценозов, а также высвобождение почв и их возврат исконному владельцу – биосфере нашей планеты – за счёт размещения путевой структуры на втором уровне, над поверхностью земли.

Расселение предлагается проводить вдоль высокоскоростных трасс в формате линейных городов кластерного типа протяжённостью в сотни и тысячи километров. Пешеходные кластеры различного назначения (жилые, производственные, образовательные, туристские, спортивные и др.) эффективно связаны между собой транспортно-логистическими артериями и максимально автономны. Они строятся так, чтобы каждый дом мог кормить своих жильцов за счёт выращиваемой в нём сельскохозяйственной продукции, а все бытовые и промышленные отходы, включая канализационные стоки, перерабатывались на месте в высокоплодородный биогумус. Тепловые электростанции, функционирующие на буром угле, горючих сланцах, торфе или другом топливе органического происхождения, будут отдавать избыток тепла на обогрев, углекислый газ – на питание растениям в теплицах и оранжереях, а отходы сгорания угля (зола, шлак, шлам и др.) – на производство биогумуса для удобрения почвы в теплицах, оранжереях и близлежащих сельхозугодьях.

Комплексный подход – одна из ключевых характеристик программы «ЭкоМир», а также одно из главных её преимуществ. Что крайне важно, все эти решения основаны на существующих технологиях и все, за исключением геокосмического летательного аппарата – общепланетарного транспортного средства (ОТС), уже опробованы на практике.

ОТС рассматривается в рамках программы как единственно возможный инструмент масштабной экспансии в космос. Подразумевается, что для его строительства необходимо объединение значительной части населения планеты. Реализация проекта откроет безграничные перспективы индустриального роста нашей технократической (инженерной) цивилизации и позволит преодолеть все экологические проблемы за счёт переноса вредной части земной промышленности на орбиту и получения доступа к недосягаемым сегодня пространственным, сырьевым, энергетическим и технологическим ресурсам ближнего и дальнего космоса.

Однако решение поставленных задач требует соответствующего целеполагания на международном уровне. Цель данной работы – анализ потенциала, заложенного в различных аспектах программы «ЭкоМир», с точки зрения возможности их содействия обеспечению необходимых условий социально-экономической консолидации в рамках осуществления глобальных общецивилизационных проектов, таких как ОТС.

Реализация программы «ЭкоМир» как путь перехода от антропо- и техносферы к ноосфере

Реализация программы «ЭкоМир» предполагает переход цивилизации в качественно новое состояние. В глобальном отношении это связано с обеспечением широкомасштабной доступности ближнего космоса для человека. Сегодня преодоление гравитации и достижение космических скоростей движения требует больших усилий, ресурсов и обходится дорого: стоимость доставки груза на орбиту начинается от 10 млн USD/т. Получив возможность масштабной мирной экспансии за пределы планеты, когда стоимость геокосмической логистики составит до 10 000 USD/т, человечество сделает всю Землю, а не отдельно расположенные на её поверхности сообщества, субъектом деятельности. Тем самым завершится формирование новой сферы планеты, характеризуемой рядом исследователей как ноосфера [2].

Ноосфера выступает в качестве результата и кульминации развития литосферы, гидросферы, атмосферы, биосферы, антропосферы и техносферы. Создание ОТС и воплощение других элементов программы «ЭкоМир» становятся в этом свете ключевыми факторами практического выполнения условий перехода в новое состояние, обеспечиваемое определённым набором технологических решений, на фундаменте которых и построен проект А.Э. Юницкого. Такое утверждение находится в соответствии с представлениями основоположников теории ноосферы, подчёркивавших важность инновационных технологий в контексте планетарного развития.

Известный учёный-естествоиспытатель В.И. Вернадский отмечал: «Два момента, следовательно, являются предпосылками замены антропосферы ноосферой: господство человека над внешней природой и господство в самом человеке сил разума над низшими инстинктами» [3]. Инструмент достижения указанных целей – научный и технический прогресс. «...Ход истории научной мысли выступает перед нами как природный процесс истории биосферы. Исторический процесс – проявление всемирной истории человечества – выявляется перед нами в одном, но основном своём следствии – как природное, огромного геологического значения явление» [4].

Для того чтобы ноосфера сформировалась, требуется объединение всего человечества. Вернадский считал, что уже в его время, к середине XX в., были созданы все предпосылки для этого. «Впервые в истории человечества мы находимся в условиях единого исторического процесса, охватившего всю биосферу планеты», – говорил он [4]. Вместе с тем Вернадский оказался одним из первых, кто осознал, что без перехода в новое качество человечество ждёт гибель. «Человек впервые реально понял, что он житель планеты и может – должен – мыслить и действовать в новом аспекте, не только в аспекте отдельной личности, семьи или рода, государства или их союзов, но и в планетном аспекте» [4].

Программа «ЭкоМир» – конкретный путь к воплощению идей планетарного единства и разумного обустройства Земли, позволяющий выполнить все необходимые условия для перехода антропосферы в ноосферу.

12 условий перехода от антропосферы к ноосфере в рамках программы «ЭкоМир»

Если ноосфера – это разумно устроенная и разумно действующая живая оболочка планеты, то её формирование связано с преодолением неразумности. Упрощая формулировку, данную В.И. Вернадским, можно сказать, что такой процесс предполагает два ключевых аспекта – пространственный и поведенческий. Разумная жизнь должна в первую очередь равномерно и эффективно освоить всю Землю, обеспечить транспортную доступность даже самых отдалённых территорий и, следовательно, получить физическую возможность мониторинга и корректировки ситуации во всех точках планеты. Затем, что гораздо сложнее, необходимо устроить всё таким образом, чтобы устранить максимум предпосылок нерационального поведения отдельных людей и их локальных и глобальных сообществ.

В основе всех форм и видов подобного поведения лежит неравенство в различных вариантах его проявления (от физического до духовного и культурного). Неравномерность распределения ограниченных ресурсов, неразвитость связей, необразованность и бесправность одних на фоне вседозволенности других порождают в социуме очаги напряжения, на ликвидацию которых тратятся огромные всеобщие усилия, которые при иных обстоятельствах могли быть направлены на созидательное движение ко всё более и более разумному обустройству жизни человечества в масштабах всей цивилизации.

Осознание и осмысливание неравенства, переживаемого как несправедливость, приводит к фрустрации и оказывается причиной деструктивных действий на всех уровнях общественной жизни. Поэтому все проекты социальной трансформации были нацелены на преодоление неравенства и осуществлялись под девизами вроде «Свобода, равенство, братство». В то же время всегда очевидна невозможность абсолютного равенства, взамен которого предлагались две базовые модели справедливого устройства:

- ограниченное равенство всех, реализующееся только в отношении каких-то конкретных аспектов общественной жизни, таких как, например, права человека или законы государства;
- внутрисословное равенство, подразумевающее равные права и возможности только внутри отдельных групп, существующих в иерархическом (неравноправном) отношении к другим группам.

Сложности внедрения обеих этих моделей разумного общественного устройства вытекают из того, что в большинстве случаев они сосредоточивались на поведенческих аспектах, упуская из виду необходимость соотнесения свобод и возможностей людей с их распределением в пространстве. Проще говоря, новые условия социального поведения предлагалось реализовывать в старой среде. Например, в послереволюционной Франции, несмотря

на провозглашение равенства в правах, для всех было очевидно неравенство в стартовых позициях, с которых этими правами начинали пользоваться дети разных сословий. Так же, несмотря на разделение общества на касты или сословия, которые якобы существуют в параллельных мирах, люди из разных каст, как правило, продолжают соприкасаться и видеть как разницу в своём положении, так и схожесть своих потребностей. Формируется вывод: одним всё, а другим ничего.

Исторически конфронтации интересов ввиду неравенства удавалось избегать только при проживании людей небольшими и в высокой степени изолированными друг от друга группами, в которых у всех был примерно равный достаток и равные возможности. В данном формате реально минимизировать неравенство, а следовательно, именно такой подход наиболее целесообразен с точки зрения устранения первопричин иррационального социального поведения.

Люди отличаются друг от друга ростом, силой, цветом кожи, талантами и умственными способностями, интересами, желаниями, культурой и др. Люди не могут быть равны во всём. Однако среди них всё же можно выделить или сформировать группы равных, чтобы они жили и трудились сообща с себе подобными ради общего блага и общих целей, без оглядки на другие такие же группы, а значит, и без осознания неравенства и несправедливости – без войн и загрязнения природы, без революций и преступлений друг против друга. Ничего подобного не получится осуществить в современном гиперурбанизированном обществе. Между тем пересмотр подходов к его пространственной организации, предлагаемый в рамках программы «ЭкоМир», позволяет реализовать такую логику в рамках линейных городов кластерного типа, которые, не отнимая у людей ничего из так называемых благ цивилизации, дают возможность:

- равномерно заселить всю сушу Земли;
- предоставить комфортную среду для проживания людей небольшими сообществами (по 1000–5000 человек) в пешеходных и самообеспеченных всем необходимым кластерах, где решён вопрос продуктовой, водной, энергетической, транспортно-инфраструктурной и иной безопасности;
- ввиду локализации и общинного характера ведения хозяйства исключить любые формы социального неравенства из жизни каждого отдельно взятого сообщества.

Программа «ЭкоМир», благодаря заложенным в неё инженерно-техническим решениям и открываемым с их помощью путям к устранению причин социального иррационального поведения, позволяет обеспечить выполнение всех условий становления ноосферы как разумной живой оболочки планеты. По обобщениям российского учёного Ф.Т. Яншиной, таких условий насчитывается 12 [5]:

1) заселение человеком всей планеты;

2) резкое преобразование средств связи и обмена между разными странами;

3) усиление связей, в том числе политических, между государствами Земли;

4) преобладание геологической роли человека над другими геологическими процессами, протекающими в биосфере;

5) расширение границ биосферы и выход в космос;

6) открытие новых источников энергии;

7) равенство людей всех рас и религий;

8) увеличение роли народных масс в решении вопросов внешней и внутренней политики;

9) свобода научной мысли и научного искания от давления религиозных, философских и политических построений и создание в общественном и государственном строе условий, благоприятных для свободной научной мысли;

10) подъём благосостояния трудящихся. Формирование реальной возможности не допустить недоедания, голода, нищеты и ослабить влияние болезней;

11) разумное преобразование первичной природы Земли с целью сделать её способной удовлетворять все материальные, эстетические и духовные потребности численно возрастающего населения;

12) исключение войн из жизни общества.

Когда какие-то из перечисленных условий уже частично воплощены, программа «ЭкоМир» даёт инструменты к дальнейшему движению в данном направлении. Для условий, которые не выполнены, программа – единственный непротиворечивый и эффективный путь к достижению нужного результата. Разберём указанные 12 пунктов по отдельности.

1. Заселение человеком всей планеты всё ещё далёко от реализации. Население сосредоточено в основном в крупных городах и зонах с наиболее комфортными природно-климатическими условиями. Почти не освоены территории Арктической зоны, Антарктида, пустыни. Люди не живут на большей части планеты, покрытой водой.

Развитие линейных городов, где дома будут предоставлять всё необходимое для питания и защиты жителей от внешних воздействий, позволит в корне изменить логику и характер расселения людей. Возведение экваториального линейного города, являющееся частью процесса создания геокосмической логистики и взлётно-посадочной эстакады ОТС, – это начало колонизации поверхности океана. Вместе с тем территории, обычно считающиеся непригодными для жизни, при применении заложенных в основу концепции линейных городов технологий окажутся способными обеспечить не просто приемлемый, но высокий уровень и качество жизни.

Как следствие более равномерного заселения людьми всей планеты, должны измениться господствующие подходы в области природозащитной деятельности. Трансформируется суть экологии как науки о среде обитания человека, поскольку будет расширена и реструктурирована сама эта среда. Исчезнут предпосылки для рассмотрения отдалённых районов в качестве территорий для размещения загрязняющих природу производств и захоронения токсичных отходов. Кроме того, снизится техногенная нагрузка на наиболее заселённые районы. В целом откроются новые горизонты для разумного и бережного использования пространственных ресурсов в глобальном масштабе.

2. Преобразование всех видов коммуникаций (транспорт и логистика, энергетика и линии электропередач, связь и интернет) и повышение эффективности обмена между разными странами и регионами продуктами и услугами – это также условие, выполненное в настоящее время только отчасти. Конечно, развитие железнодорожного, автомобильного и авиатранспорта, появление телеграфа, телефона, радио и спутниковой связи, атомных электростанций и высоковольтных линий электропередач, интернета и прочего – огромный скачок вперёд по сравнению с возможностями человечества 150–200 лет назад. Однако на каком-то этапе прогресс в данной области остановился. Информация передаётся за секунды, денежные переводы производятся с почти такой же быстротой. А вот средняя скорость перевозок не только не растёт, но снижается из года в год из-за скученности населения в крупных городах, роста автомобилизации и возникновения экологических проблем, в том числе глобальных, охватывающих всю биосферу планеты. При этом основная часть груза транспортируется морским и железнодорожным транспортом, который мало изменился за последние 200 лет.

Внедрение ЮСТ позволит выровнять баланс между скоростью передачи данных и скоростью перевозок. Благодаря технико-экономическим показателям такой транспорт будет гораздо более доступным для людей, чем, например, авиационный, которым пользуется лишь небольшая в масштабах планеты часть населения. Это улучшит мобильность жителей Земли в целом, станет стимулом для роста экономик как в развитых, так и в развивающихся странах, обеспечит оптимизацию мировых логистических цепочек, что даст возможность сделать работу системы обмена и распределения внутри земной цивилизации более рациональной.

3. Усиление связей, в том числе политических, между государствами также сложно считать выполненным в полной мере. Взаимодействие между странами часто не только не крепнет, но ослабевает либо несёт односторонний деструктивный характер. Особенно явно негативные тенденции стали проявляться с начала 20-х годов нынешнего века.

Одна из основных причин возрастания напряжённости в современном мире – противостояние за сферы влияния и ресурсы ввиду капиталистического аспекта производственных и торговых отношений, сводящееся к борьбе за рынки. Программа «ЭкоМир» оказывается и в данном случае принципиальным решением, так как предполагает создание новых рынков большой ёмкости в различных областях хозяйствования: энергетике, транспорте, строительстве, промышленной и жилой инфраструктуре, автоматике, сельском хозяйстве и др. Разительные горизонты открываются в этом смысле в связи с индустриализацией космоса, что обеспечит для государств условия перехода от противостояния и конкуренции в борьбе за ограниченные экономические активы к объединению усилий в рамках совместного осваивания новых ресурсов на Земле и за её пределами.

4. Преобладание геологической роли человека над другими геологическими процессами, протекающими в биосфере, хотя и наблюдается, но без полномерного выполнения других задач из рассматриваемого списка не имеет и не может иметь под собой достаточно устойчивых оснований. Видимое превалирование *Homo sapiens* на планете носит разрушительный характер, так что человечество само создаёт предпосылки для своего ухода с доминирующих позиций в ближайшем будущем, ограниченном двумятремя поколениями. Господство людей может быть аннулировано не только ухудшением экологической обстановки до степени непригодности Земли для жизни, но и, например, каким-нибудь новым смертельным вирусом или серией ядерных конфликтов.

Превосходство геологической роли человека над другими геологическими процессами исторически возрастает по мере усиления независимости цивилизации от естественно-природного хода вещей через техносферу, созданную людьми внутри биосферы. Однако в какой-то момент это движение достигает своего предела из-за негативного воздействия техносферы на окружающую её биосферу.

Следующий принципиальный шаг в преобладании оказывается возможным только через вынос основной части индустриального производства за пределы планеты и исключение отрицательного влияния на среду обитания всех живых организмов, в том числе человека. Именно такой путь предполагает программа «ЭкоМир», тем самым приближая становление подлинной ноосферы.

5. Расширение границ биосферы и выход в космос выполнены лишь в самой незначительной части. Только создание общепланетарной геокосмической транспортной системы, функционирующей на экологически чистой электрической энергии и обеспечивающей транспортировку на орбиту и обратно десятков миллионов тонн грузов в год, ознаменует настоящий выход цивилизации в космос. Как неоднократно продемонстрировано в работах представителей инженерной школы Юницкого, такие параметры достижимы только в рамках проекта строительства ОТС, выступающего краеугольным камнем программы «ЭкоМир».

6. Открытие новых источников энергии будет обусловлено началом масштабной экспансии в космос. Прежде всего речь идёт о солнечной энергии, доступной на орбите почти в бесконечных объёмах. На фоне этого предпринимаемые на протяжении десятков лет попытки создания токамака и добычи энергии при помощи термоядерного синтеза – не только гораздо менее эффективны, но и почти бессмысленны, так как ни к чему строить искусственный термоядерный реактор при наличии доступа к его естественному аналогу, превосходящему рукотворную машину по всем параметрам и гарантирующему бесперебойную работу на протяжении как минимум 5 млрд лет, – Солнцу.

7. Равенство людей всех рас и религий достижимо только при более равномерном расселении жителей планеты, существенном увеличении их достатка и уровня образования, а также обеспечении равного доступа к иным благам цивилизации. Такое равенство – одна из подлинных целей программы «ЭкоМир», провозглашающей приоритет интересов всех над интересами отдельных рас, религий, государств или корпораций. При этом в отличие от большинства, если не от всех, популистских проектов, декларирующих стремление к гуманизму, глобальная программа А.Э. Юницкого предоставляет конкретные технологические инструменты для достижения своих целей.

8. Увеличение роли народных масс в решении вопросов внешней и внутренней политики будет неизбежно достигаться в рамках реализации программы «ЭкоМир», так как расселение людей в линейных городах, где они станут проживать небольшими общинами, значительно усилит позиции самоуправления.

9. Свобода научной мысли и научного искания от давления религиозных, философских и политических построений и создание в общественном и государственном строе условий, благоприятных для свободной научной мысли, также будут выполняться тем лучше, чем меньше будет вмешательства в науку со стороны государств и корпораций. Опять же, линейные города в качестве основной формы расселения, предполагаемой программой «ЭкоМир», станут неукротимо содействовать этому.

Каждый кластер линейных городов, изначально обеспеченный всем необходимым в плане питания, энергетики и других первостепенных ресурсов, в любом случае гораздо более автономен, чем современные дома и районы мегаполисов. Возникают предпосылки к наращиванию уникальности кластеров и их разнообразия по укладу и характеру жизни, культурным особенностям и др. Такие отличия, заложенные в самой логике расселения людей и организации их быта, практически невозможно контролировать централизованно. Следовательно, насаждать что-либо в сфере познания и научной деятельности будет затруднительнее, чем в сложившихся к концу XX в. реалиях, когда большие города стали центрами промышленности, культуры, образования и науки, когда всё перемешалось в этих бурлящих котлах мегаполисов и на поверхности оказались те отрасли, которые превосходят другие не по значимости для развития общества и становления ноосферы, а по количеству денег и коррумпированности власти, выраженной в праве на доминирование и насилие.

10. Подъём благосостояния трудящихся. Создание реальной возможности не допустить недоедания, голода, нищеты и ослабить влияние болезней – всё это также достижимо в рамках программы «ЭкоМир» гораздо органичнее и быстрее, чем в любой иной логике, предлагаемой сегодня. И снова базовые предпосылки устранения нищеты и голода, веками терзавших человечество, – это технологии, позволяющие в линейных городах обеспечить людей всеми необходимыми ресурсами в достаточных количествах. Пространственная, экологическая и продовольственная безопасность заложены в программу как цель, для приближения к которой нужно предпринять вполне конкретные действия и внедрить понятные по своей сути, разработанные и опробованные на практике инженерные решения.

11. Разумное преобразование первичной природы Земли для того, чтобы сделать её способной удовлетворять все материальные, эстетические и духовные потребности численно возрастающего населения, – легко выполнимое условие при внедрении новых транспортных и энергетических систем, переходе к биосферному методу ведения сельского хозяйства и новым, более совершенным с точки зрения экологии формам расселения. При реализации шагов, предлагаемых в рамках программы «ЭкоМир», на Земле в достатке, комфорте и без невосполнимого ущерба для биосферы смогут жить около 100 млрд человек [6]. Масштабная мирная экспансия в космос расширяет горизонт почти до бесконечности – настолько, насколько велика сама Вселенная.

12. Исключение войн из жизни человечества возможно только при коренном изменении господствующей на планете социально-экономической модели капитализма, что в свою очередь предполагает трансформацию базовых условий построения системы хозяйствования и отношений собственности. Технологии и принципы, на которых базируется программа «ЭкоМир», позволяют сформировать новый тип человека-созидателя (инженера) как основополагающей единицы экономических отношений в созданной им технократической цивилизации, изначально обеспеченной всем необходимым для удовлетворения широкого круга потребностей, включая потребность в безопасности, социальных отношениях, жилье, пище и др. Это даёт шанс по-иному взглянуть на перспективы развития мировой социально-экономической системы и на роль государств в ней, в том числе для исключения конфликтов и войн на планете благодаря провозглашаемой программой «ЭкоМир» общности интересов каждого индивидуума в отдельности и государств, международных корпораций и человечества в целом.

Необходимость пересмотра роли государства в обществе

Реализация заложенных в программу «ЭкоМир» проектов, таких как ОТС, предполагает объединение усилий людей и государств всей планеты. Для этого, как показано выше, следует исключить предпосылки иррациональных форм социального поведения – войны, терроризм, рукотворные пандемии и др. Поскольку войны и другие охватывающие большие количества людей иррациональные процессы во все времена инициируются государством, то видится необходимым пересмотреть его роль и функции в отношении социума, а также степень и характер участия в общественной системе.

Из всех видов деятельности человека экономическая более остальных является движущей силой исторического процесса. Значимы и научное познание, и технический прогресс, и всё прочее, чему люди посвящают жизнь. Однако добыча, обладание, производство и продажа всего, что имеет ту или иную ценность, всегда составляли и составляют основу общественных отношений, а также выступают как один из наиболее распространённых мотивов изменений. Освоение планеты, расселение, развитие ремёсел, торговли, искусств, великие географические открытия, колонизация территорий, революции и войны – всё, о чём мы читаем на страницах учебников истории, обусловлено экономическими причинами и содержанием. И везде, где вещи и события предстают в этом свете, мы видим борьбу между людьми, а также вытекающие из неё разобщённость и несправедливость.

«История всех до сих пор существовавших обществ была историей борьбы классов. Свободный и раб, патриций и плебей, помещик и крепостной, мастер и подмастерье, короче, угнетающий и угнетаемый находились в вечном антагонизме друг к другу, вели непрерывную то скрытую, то явную борьбу, всегда кончавшуюся революционным переустройством всего общественного здания или общей гибелью борющихся классов» [7], – это строки, с которых начинается Манифест Коммунистической партии, впервые столь радикально осмысливший несправедливость общества как его неотъемлемую характеристику.

Однако несправедливость возникает не как необходимая сторона производственной деятельности человека, но в качестве следствия обмена продуктами этой деятельности. Отнять силой или обманом – соблазн, видимо, такой же древний, как мир людей. Для того чтобы защититься от этого, создаётся государство, которое выступает гарантом соблюдения тех или иных установленных большинством правил. В этом суть теории общественного договора. Тем не менее, получая право применять насилие, чтобы блюсти справедливость, государство превращается в творца несправедливости как по отношению к своему народу, вынужденному платить дань, так и по отношению к соседним странам. Возникая, государство становится субъектом экономической жизни, более сильным, чем любой индивидуум.

Из преследования государством экономических интересов происходят все массовые бедствия людей – голод и нищета, эпидемии и войны. Планета оказывается полем столкновения и противоборства стран, из чего формируется геополитика, по сути, не предполагающая возможности всеобщего гармоничного союза людей, а значит, и установления на Земле разумного порядка. Напротив, в геополитике считается, что международные отношения определяются законом фундаментального дуализма.

«По мысли родоначальников геополитики, особенно А. Мэхэна и Х. Маккиндера, этот дуализм изначально несёт в себе семена враждебности, которые, падая на хорошую политическую и военную почву, дают плоды непримиримой вражды двух стихий… двух типов культурно-исторических цивилизаций (демократии и идеократии)» [8]. Не случайно в науке СССР послевоенного периода геополитика, логически ведущая к оправданию завоеваний и войн, объявлена лженаукой. Краткий философский словарь 1951 г. под редакцией М.М. Розенталя и П.Ф. Юдина даёт такое определение: «Геополитика – фашистская лженаука, стремящаяся обосновать при помощи географических факторов империалистическую политику экспансии и грабежа. <…> Геополитика пытается доказать, что само географическое положение данной страны требует якобы раздвижения границ и захвата «жизненного пространства» за счёт территорий других стран. «Философской» основой геополитики является в корне неверный тезис об определяющем влиянии географической среды на развитие общества. <…> «Географическая среда… не может служить главной причиной, определяющей причиной общественного развития…» Отсюда ясно, что внешняя политика государства, которая коренным образом меняется, как показывает опыт истории, в связи с изменением социально-экономического строя, никак не может быть следствием географических условий. Геополитика является порождением империализма» [9].

Источник вражды между странами и их коалициями находится не в том, что они отличаются друг от друга политическим строем, географическими особенностями формирования и другими аспектами, а в том, что государства выступают вооружёнными субъектами экономических отношений. До тех пор, пока будет сохраняться подобная ситуация, переход человечества в ноосферное состояние существования останется невозможным, а реализация программы «ЭкоМир» – крайне затруднительной, а то и невыполнимой.

Следует отметить, что устранение государства от участия в экономической деятельности – один из основных векторов движения общественных систем начиная с эпохи Просвещения и первых буржуазных революций. Шотландский учёный А. Смит описывал возможность устройства экономической жизни без вмешательства в неё со стороны власти через метафору «невидимой руки», которая способствует достижению общезначимых результатов и формирует систему производства, распределения и обмена ценностями за счёт баланса интересов её отдельных участников. На этом принципе строится рыночная экономика и капитализм. Альтернатива – тотальный контроль со стороны государства в рамках плановой модели и социализм. Однако даже в его горизонте роль власти должна быть постепенно нивелирована.

Государство в левацкой интеллектуальной традиции трактуется как нечто необходимое лишь на переходном этапе социализма, а не в коммунизме. Так, немецкий философ К. Маркс утверждал: «…На высшей фазе коммунистического общества, после того как исчезнет порабощающее человека подчинение его разделению труда; когда исчезнет вместе с этим противоположность умственного и физического труда; когда труд перестанет быть только средством для жизни, а станет сам первой потребностью жизни; когда вместе со всесторонним развитием индивидов вырастут и производительные силы и все источники общественного богатства польются полным потоком, лишь тогда можно будет совершенно преодолеть узкий горизонт буржуазного права, и общество сможет написать на своём знамени: Каждый по способностям, каждому по потребностям!» [10].

Выдающийся государственный деятель В.И. Ленин писал: «Государство сможет отмереть полностью тогда, когда общество осуществит правило «каждый по способностям, каждому по потребностям», т. е. когда люди настолько привыкнут к соблюдению основных правил общежития и когда их труд будет настолько производителен, что они добровольно будут трудиться по способностям. «Узкий горизонт буржуазного права», заставляющий высчитывать, с чёрствостью Шейлока, не переработать бы лишних получаса против другого, не получить бы меньше платы, чем другой, – этот узкий горизонт будет тогда перейдён. Распределение продуктов не будет требовать тогда нормировки со стороны общества количества получаемых каждым продуктов; каждый будет свободно брать «по потребности».

С точки зрения буржуазной легко объявить подобное общественное устройство «чистой утопией» и зубоскалить по поводу того, что социалисты обещают каждому право получать от общества, без всякого контроля за трудом отдельного гражданина, любое количество трюфелей, автомобилей, пианино и т. п. Таким зубоскальством отделываются и поныне большинство буржуазных «учёных», которые обнаруживают этим своё невежество и свою корыстную защиту капитализма. Невежество, – ибо «обещать», что высшая фаза развития коммунизма наступит, ни одному социалисту в голову не приходило, а предвидение великих социалистов, что она наступит, предполагает и не теперешнюю производительность труда и не теперешнего обывателя, способного «зря» – вроде как бурсаки у Помяловского – портить склады общественного богатства и требовать невозможного» [11].

Предположим, что и капитализм с его теорией свободного рынка, и коммунизм – обе эти основные и конкурентные программы развития общества нацелены на устранение государства из экономической деятельности. Однако на деле одна (капитализм) приходит к тому, что место государства начинают занимать международные корпорации, а другая (коммунизм) – к тоталитаризму и диктатуре. Таким образом, проблема, состоящая в концентрации властных, сырьевых и производственных ресурсов у тех или иных организаций, а также в неизбежности конфликтов между этими организациями, стремящимися к росту и усилению, в подобных случаях не решается.

Просто ограничив участие государства в экономической деятельности, люди не избавятся от несправедливостей и неразумностей – войн, геноцида, пандемий, экологического терроризма и др. Не будут этим заниматься власти – тогда на их место придут транснациональные корпорации. Последствия окажутся ещё ужаснее, поскольку в данном случае речь вообще не идёт ни о каких регулятивах типа общественного блага, защиты людей и иных механизмов, которые поднимаются на знамёна государств и хоть как-то оправдывают их существование. Варианты капитализма без государства, такие как инклюзивный капитализм К. Шваба, – это абсолютно чудовищные перспективы, потому что подобным обществам приемлема только одна цель – получение максимальных прибылей. Хотя и утверждается обратное.

«Если проанализировать сказанное Швабом по поводу «новой» модели капитализма, то в конечном счёте всё сводится к предложению отказаться от принципа максимизации прибыли. Мол, бизнесу следует осознать, что эпоха приращения капитала завершается, средняя прибыль во многих отраслях и на многих рынках стремится к нулю» [12]. Для того чтобы спасти капиталистическую модель, «во-первых, прибыль должна перестать быть целью и главным ориентиром успешности бизнеса. Во-вторых, компании должны идти навстречу потребителям, снижая цены и постепенно искореняя бедность и нищету. В-третьих, следует отказываться от привычного представления о том, что корпорации принадлежат акционерам» [12].

«К. Шваб… добавляет: «Цель компании – вовлечь все заинтересованные стороны в совместный и устойчивый процесс создания стоимости». То есть каждая компания должна стать «инклюзивной», и выстраивать инклюзивный капитализм должно не государство, а вот такие компании. Государство же постепенно должно «поглощаться» (be included) инклюзивными компаниями, но не отмирать, как в классическом марксизме, а приватизироваться крупнейшими корпорациями» [12]. Из этого вытекает неизбежный постепенный переход власти от государства к корпорациям, которые оказываются ничем более не сдерживаемыми и не ограничиваемыми. Логика такова, что должен наступить момент, когда у них будет своя армия, они будут определять тарифы на социально значимые услуги, заниматься здравоохранением, образованием, диктовать смыслы искусству и др.

Абсолютно не логично при этом предполагать, что корпорации как-то изменят свою сущность. Они станут и дальше стремиться наращивать богатство и усиливать могущество, стремясь максимально возможно сократить затраты на сырьё, энергию и рабочую силу, каковой и являются для капитализма люди. При такой тенденции корпорации никогда не смогут прийти к равновесной системе взаимоотношений, поскольку их развитие предполагает конкуренцию, а значит, и неразборчивость в средствах борьбы. Конфликты, истощение ресурсов, загрязнение природы, рост неравенства – всё это не только сохранится, но и по понятным причинам приумножится, стремясь к окончательной и всеохватывающей катастрофе.

Неотъемлемым спутником капитализма выступают войны. Как отмечал российский деятель Л.Д. Троцкий в работе «Война и Интернационал», война – метод, которым капитализм в кульминационном пункте своего развития стремится разрешить неразрешимые противоречия, возникающие между антагонистическими государствами при разделе рынков и сфер влияния. «Дальнейшее развитие мирового хозяйства на капиталистических основаниях означает непрерывную борьбу мировых держав за новые и новые переделы одной и той же земной поверхности как объекта капиталистической эксплуатации. Экономическое соперничество под знаком милитаризма сменяется мировым разбоем и разгромом, дезорганизующим самые основы человеческого хозяйства» [13], – говорил тот же Троцкий. Французский социалист Ж. Жорес выразился ещё более категорично: «Капитализм несёт в себе войну, как облака несут дождь» [14].

Предлагая трансформировать капитализм, его теоретики хотят сохранить суть данной модели, а вместе с тем и главную причину всех социальных противоречий, которой, очевидно, является собственность и отношения, возникающие вокруг неё. Ведь ключевое различие между капиталистической и коммунистической моделями – это права собственности. Капитализм стремится во что бы то ни стало сохранить институты частной собственности, так как на них построены богатства такого мира. Однако на них же основана и бедность, да и вообще вся несправедливость и неразумность.

С другой стороны, общественная собственность на средства производства, ресурсы и иные ценности явно уступает частным формам по способности мотивировать к труду, стимулировать развитие, а также по возможностям оперативно реагировать и перенастраивать системы производства, распределения и обмена ценностями. Коммунистический эксперимент, проведённый в СССР, закончился крахом. Капитализм переживает затяжной и нарастающий кризис, признаваемый даже ярыми сторонниками этой системы, например К. Швабом. Вероятна ли какая-то другая система прав собственности, кроме тех, которые существуют в мире сейчас? Реально ли построить такую систему, которая позволила бы разумно устранить государство от экономической деятельности, не дав возможности сконцентрировать большое количество ресурсов в руках корпораций?

Новые производственные возможности как инструмент борьбы с неравенством и основа формирования нового права собственности

Право собственности предполагает возможность обладать, пользоваться и распоряжаться чем-либо. С одной стороны, речь идёт о самом человеке, его труде и продуктах, произведённых этим трудом. С другой – о ресурсах и средствах производства. Всё перечисленное лежит в основе экономических отношений как отчуждаемые и присваиваемые объекты для распределения, обмена и потребления. Изначальные условия всегда не равны. У одних есть только они сами и их труд, у других – земли, заводы и пароходы. Само явление собственности создаёт предпосылки для вражды в локальном и общепланетарном масштабах. Как только кто-то называет что-то своим, находится другой, готовый оспорить это утверждение. Здесь и возникает, согласно упомянутой уже теории общественного договора, необходимость государства и права в качестве механизма защиты собственности. Одна из первых целей государства, таким образом, – установление и поддержание системы отношений собственности. Делает оно это, по сути, забирая всё себе и перераспределяя заново.

Исторически трансформация роли государства в экономической жизни общества, а также изменения в структуре собственности связаны с появлением новых систем ведения хозяйства и новых сфер создания ценностей. Крестьяне получают права собственности на часть продуктов своего труда только после того, как они становятся основной производящей общественное богатство силой и заменяют собой рабов, не имеющих никаких прав. Рабочие освобождаются от ограничений по перемещению и обретают возможность прикладывать свой труд по своему усмотрению только после того, как расцветает и начинает доминировать в экономике промышленное производство. Речь об их социальной защищённости заходит только с развитием сферы услуг, по мере того как оказывающие эти услуги предприятия сами становятся важными объектами собственности и источниками прибыли. Такова же логика формирования информационной экономики, в которой информация становится важным объектом собственности. Во всех этих трансформациях роль и вовлечённость государства смещаются и расширяются.

Помимо выполнения функций регулирования отношений в новых отраслях, государство стремится увеличить зоны своего экономического влияния и участия. Из-за этого оно вынуждено вступать в противоборство, во-первых, с собственными гражданами, во-вторых – с другими странами, которые становятся конкурентами. После войн за землю начинаются войны за промышленные ресурсы, за рынки услуг и, наконец, информационные войны. Однако всё движение цивилизации, сопутствуемое развитием науки и техники, сопровождается возрастанием меры свободы людей и расширением возможностей владения и пользования как природными, так и создаваемыми ценностями. Основной причиной этого представляется увеличение количества общественного богатства в целом. Чем больше благ оказывается в распоряжении людей, тем больше достаётся каждому человеку. Теоретически может наступить момент, когда в мире появится такое количество ценностей, что их будет хватать для каждого в неограниченном количестве. Для того чтобы нечто подобное могло произойти на практике, нужно подтолкнуть цивилизацию к переосмыслению сложившегося положения вещей, показать на примерах возможность иной модели взаимоотношений в системе «человек – собственность – государство».

В экономике что-либо существует до тех пор, пока на него есть спрос. Если нет необходимости в том или ином производстве, ресурсе или продукте, они исчезают. Это касается и государства как субъекта экономической деятельности. В Античности и Средние века институты власти были нужны для охраны жизни подданных, хотя человек и мог трудом полностью обеспечивать все свои жизненные потребности. В индустриальную эпоху при нарастающем разделении труда и массовом переселении людей в города возникает нужда в системе, которая бы доставляла продукты, налаживала функционирование канализации, отопления, транспорта и других благ подобного рода. Человек не мог работать на заводе и возделывать землю одновременно, так как одно либо другое отнимало все его силы без остатка. Однако технологии не стояли на месте, и теперь ситуация изменилась, хотя система продолжает двигаться по инерции, не замечая или не желая замечать появившихся возможностей.

Ещё в середине XX в. европейские страны постоянно сталкивались с продовольственными кризисами и голодом. В 1924–1925 гг. случился массовый голод в Ирландии, в 1939–1952 гг. – в Испании [15]. Даже Германия (одна из самых экономически развитых стран) до Первой мировой войны постоянно испытывала дефицит в сельскохозяйственном производстве (28 % – нехватка белка, около 20 % – нехватка по калориям); кризисы снабжения продуктами питания продолжались и в 1930-е годы, так что эта проблема считается одной из причин начала Второй мировой.

В 1950–1960-е годы в Европе происходит Зелёная революция [16], связанная с выведением более продуктивных сортов растений и их внедрением в производство, расширением орошения, применением удобрений, пестицидов, использованием современной техники. После этого всего лишь 4–5 % немцев-фермеров смогли обеспечивать потребности страны в продуктах питания более чем на 70 %. В то же время проблема голода исчезла только для так называемых цивилизованных государств, а не для мира в целом.

По данным ООН, в 2023 г. «в 59 странах с острой нехваткой продовольствия столкнулись более 20 % населения – каждый пятый человек» [17]. Количество людей, пострадавших от голода, оценивается в 281,6 млн (примерно каждый 30-й житель планеты). При этом если на протяжении большей части истории ресурсы добывались и распределялись более-менее равномерно по всей населённой части суши, то сейчас с каждым годом возрастает экономическое неравенство. В 1820 г. соотношение в доходах между самыми богатыми 20 % населения и самыми бедными 20 % составляло 3 : 1 [18]. В 1991 г. оно выросло до 86 : 1. Согласно докладу Всемирного института исследований экономики развития при Университете ООН, в 2000 г. 1 % самых богатых людей владел 40 % мировых активов [19]. Эта ситуация усугубляется. Доклад о неравенстве в мире за 2022 г. (World Inequality Report 2022), опубликованный Парижской школой экономики как результат четырёхлетней работы, показывает, что мир характеризуется высоким уровнем неравенства доходов и экстремальным уровнем богатства, а «глобальные уровни неравенства, по-видимому, достигли такого же уровня, какой наблюдался на пике западного империализма в начале XX в.» [20].

На 50 % населения планеты приходится всего 2 % мирового богатства, а 10 % людей владеют 76 % всех известных ценностей [20]. Следовательно, в первую очередь из-за специфики существующей системы права собственности, значительное увеличение производительной мощности цивилизации и количества ценностей в мире не привело к всеобщему благоденствию, но на порядок увеличило экономическое неравенство между людьми и государствами, тем самым способствуя росту напряжённости, а также числа и глубины глобальных кризисных процессов.

Государства и крупные корпорации, присваивающие себе результаты чужого труда и сосредоточившие в своей собственности большую часть мирового богатства, не имеют никаких принципиальных границ в притязаниях на расширение сфер влияния и источников прибыли, являющейся смыслом их существования. Стремясь к одним и тем же целям обогащения, эти основные игроки хотя и находятся в отношениях конкуренции, но поддерживают и оправдывают друг друга, вместе предпринимая всё возможное для сохранения сложившейся исторически и давно не соответствующей потребностям человечества системы права собственности. В итоге такая конъюнктура становится неизменяемой изнутри, но оказывается трансформируемой только извне через несистемные факторы типа глобальных катаклизмов, революций или возникновения альтернативных, более совершенных систем производства и собственности. В последнем случае старое может быть постепенно вытеснено новым, как и всегда в экономике более эффективные решения вытесняют то, что предшествовало им.

В феодальную эпоху, для того чтобы прокормиться, человек должен был иметь минимум 5 га земли. Это среднее количество без учёта качества, которое разнится в зависимости от региона. Очевидно, что возделывание такого большого участка при крайне низком уровне автоматизации труда занимало всё время крестьянина. Остаток трудовых ресурсов он тратил на поддержание домашнего хозяйства, а также на обслуживание земель, принадлежащих феодалу. Соответственно, возможности земледельца к накоплению капитала были крайне незначительны, поскольку в его распоряжении не оставалось свободных ресурсов (трудовых, сырьевых, денежных, временных), которые можно было бы пустить в оборот. Между тем система, в которой богатство составлялось из земли и вложенного в неё труда, видится, в принципе, наиболее справедливой. Источниками несправедливости в ней выступают:

- неоднородность земли по степени её плодородности;

• неспособность человека совмещать занятие земледелием с другими видами деятельности (военное дело, политика, искусства, ремёсла и др.).

Если только представить, что земля одинаково плодородна повсеместно и что её возделывание для обеспечения пищей требует около одного часа в день, то это будет совершенно иная реальность, в которой открывается гораздо больше возможностей для самоорганизации и самоуправления крестьянских общин. Уделяя лишь незначительную часть времени уходу за земельным участком и домашними животными, человек остальную часть дня мог бы посвящать иным занятиям, к которым максимально склонен. Общины могли бы создавать собственные политические институты, хорошо обученные военные отряды, кто-то занимался бы ремёслами, писал картины, музыку. Для всего этого не требовалось бы высвобожденного за счёт концентрации огромного количества ресурсов в одних руках (крупные землевладельцы) капитала. Следовательно, и необходимость высвобождения этого капитала, а в результате и необходимость государства если бы и не исчезала, то существенно сокращалась.

До сих пор описанная исходная ситуация была невозможна ввиду технологических ограничений, но сегодня для этого есть всё. Более того, земля в постиндустриальную эпоху уже не выступает основным богатством. Большую ценность приобретают средства индустриального производства, продукты интеллектуального труда, информация и услуги. Если же исходить из того, что сельскохозяйственными продуктами каждое домовладение сможет в полной мере само удовлетворять свои потребности, то ценность земли снизится ещё значительнее. Это будет конец производства продовольствия промышленным способом. Однако таким образом не уменьшится, а, наоборот, возрастёт продуктовая безопасность в глобальных масштабах.

Человек перестанет зависеть от своевременности поставок, качества работы логистических цепочек и крупных сельскохозяйственных предприятий. Он будет кормиться своей землёй, необходимое количество которой благодаря передовым технологиям можно существенно сократить в пересчёте на каждого потребителя, фактически включая площадь участка в площадь жилища и объединяя их в высокоавтоматизированную умную систему, предоставляющую защиту от природных стихий, питание и среду для творчества. Остальная часть экономической реальности останется за пределами дома, но также неизбежно трансформируется.

При правильной технической организации жилой, транспортной, энергетической и промышленной инфраструктуры современный человек может полностью обеспечивать себя здоровой пищей и вместе с тем быть занятым на производстве или в сфере услуг, заниматься творчеством и всем, чем только пожелает. Для этого необходимо на новом технологическом уровне вернуться к естественно-природной форме расселения людей. Небольшие общины численностью 1000–5000 человек, отдалённые друг от друга на комфортное расстояние (от 1 км), должны располагаться в линейной логике в виде жилых пешеходных кластеров и объединяться высокоэффективными транспортными коридорами на базе ЮСТ со скоростью перевозок до 360 км/ч (для наиболее отдалённых участков). За счёт набора отработанных решений данные кластеры будут оснащены автономными источниками энергии и сельскохозяйственной продукции. Крыши домов займут теплицы и оранжереи, органические удобрения для которых смогут производиться тут же из бытовых отходов, а тепло и питательные вещества – из отходов снабжающих поселение энергией реликтовых солнечных биоэлектростанций. Цокольные помещения планируется отдать под животноводство.

Наряду с жилыми кластерами предполагается организовать производственные, которые смогут располагаться в непосредственной близости к местам добычи сырья благодаря эффективной системе транспортировки и возможности добираться на расстояния до 200–300 км за комфортные для человека полчаса. Это сократит расходы и позволит объединять индустриальные процессы добычи, переработки и производства.

Будучи экономически независимым, человек не перестанет желать большего: больше комнат, больше техники, больше одежды, путешествий, развлечений и др. Это предполагает стремление к богатству, для достижения которого во все времена было и есть всего три пути:

- труд;
- спекуляция;
- воровство, грабёж и иные формы отъёма.

Оставим без рассмотрения последний вариант как нечто, основания для чего возрастают прямо пропорционально возрастанию несправедливости и несовершенства общества. Попробуем представить, как труд и спекуляция изменятся при новом укладе, в котором базовые потребности человека в пропитании уже удовлетворены.

Труд человека, принуждаемого к дополнительной активности только творческими устремлениями и желанием обладания неутилитарными благами, очевидно, будет цениться больше, чем труд того, кто, не имея средств к пропитанию, под страхом голодной смерти готов принять любые условия работодателя. Эксплуатация в её марксистской трактовке сохранится, но будет добровольной, тем самым становясь оказанием услуги, что кажется принципиально иным. Рынок труда, конечно, продолжит диктовать цены. Однако, как только у человека появляется выбор – работать или нет, эта цена должна сильно вырасти, чтобы выбор был сделан в пользу труда. В конечном итоге капиталисту (собственнику средств производства) придётся предлагать работнику такую долю в добавленной стоимости изготавливаемого им продукта, которую тот посчитает справедливой. Это сильно повлияет на доходность капитала и приведёт к изменению его структуры и возникновению новых форм капиталистического производства с более справедливой системой распределения прибыли между его участниками.

Желание людей работать на капиталиста будет тем меньше, чем более они будут чувствовать себя счастливыми в повседневной жизни. Ощущение счастья зависит не столько от уровня потребления, сколько от выбранной системы ценностей и меры принятия человеком своего положения в обществе. Проще говоря, мы чувствуем себя счастливыми тогда, когда обладаем тем, чего хотим (относится и к материальному, и к нематериальному). Мера же наших желаний всегда диктуется окружением. Если в нём есть дорогие машины, магазины дизайнерской одежды, рестораны высокой кухни и люди, которые потребляют всё перечисленное, при этом постоянно перемещаясь из конца в конец планеты на частных самолётах и наслаждаясь прекраснейшими её уголками, то мы почти неизбежно начинаем хотеть того же и, не имея возможности получить желаемое, начинаем страдать, чувствуем себя несчастными. Однако стоит убрать подобные вещи (не являющиеся жизненно необходимыми) из нашего окружения, как они перестанут казаться важными. Ведь не нужны же они аборигенам, как не нужны были нашим предкам, жившим в маленьких деревнях и городках, по-своему задававших меру счастья. Не нужны они и тем, кто сегодня переезжает в провинцию. Точно так же потребность в подобных излишках отпадёт и при организации расселения людей в общинах линейных городов. Хотя бы только потому, что всегда на первый план в нашем окружении выходит то, что оказывает на нас максимальное воздействие, – является ближним.

Система ценностей зависит не только от культурной среды её формирования, но в гораздо большей степени от конкретных человеческих потребностей. Предметы роскоши не исключение. При определённом образе жизни и целеполагании они становятся потребностью. В крупном городе жизнь человека представляется достойной и комфортной, только если у него есть дом или квартира в престижном месте (желательно с консьержем, прислугой и охраной), персональный автомобиль, просторный рабочий кабинет в офисе, расположенном в деловом районе, возможность одеваться в дорогом магазине и ужинать в приличном ресторане, а также время от времени посещать культурные мероприятия и др. Всё это для горожанина не блажь и не излишества, а потребность, потому что только так можно оградить себя от враждебной и некомфортной в принципе среды, построить что-то вроде мира внутри мира. Сельчанину ничто из перечисленного не нужно. Не станет же он доить коров в вечернем платье или ездить по бездорожью на спортивном автомобиле. Зато ценность будет иметь трактор, грузовик, пилорама и другие предметы, о существовании которых житель мегаполиса может даже не догадываться. При этом вопрос, кто из нашего примера счастливее, не получит однозначного ответа. Даже сказать, кто культурнее, невозможно без дополнительного прояснения. Понятно только то, что какой-нибудь фермер, обладающий стабильным достаточным доходом, плодородным участком и хорошим, полным детишек домом при прочих равных окажется ближе к счастью, чем какой-нибудь успешный биржевой спекулянт, владеющий всеми соответствующими атрибутами достатка. Так происходит потому, что в первом случае пределы желаний гораздо более осязаемы, чем во втором. А счастье – это и есть совпадение желаемого с действительным, того, что мы хотим, с тем, что мы имеем. Спекулянт, с одной стороны, будет нуждаться во всё большем и большем количестве богатства, а с другой – жить с постоянным страхом потерять то, что у него есть.

Несмотря на принципиальную безмерность человеческих желаний, возможны обстоятельства, в которых материальная сторона желаемого представится всё же ограниченной. Это происходит прежде всего тогда, когда предметы оцениваются с точки зрения их функционального предназначения. Мне не нужно 10 лопат, 20 бензопил или 50 комбайнов на участке, с которым справляется один. Однако мне может быть необходимо иметь десяток дорогих часов и несколько автомобилей, чтобы подтверждать свой статус в требующей от меня этого среде общения. Могу ли я хотеть подобного, не зная о таких требованиях? Вряд ли. Следовательно, если среда моей работы и общения будет выстроена с точки зрения разумной здоровой жизни, а предметы в ней начнут оцениваться мной в первую очередь с точки зрения их функциональности, то горизонт моих материальных желаний сузится. Мне не понадобится изо дня в день годами трудиться на капиталиста, чтобы приобрести желаемое. После того как я получу всё нужное, меня вообще сложно будет принудить к какому бы то ни было наёмному труду.

Я стану работать на себя, и этого мне окажется достаточно. Если мне хватит того, что я имею, то у меня не возникнет причин для воровства. А если не только у меня, но и у большинства окружающих появится всё необходимое, то и спекуляция если не исчезнет вовсе, то сильно ограничится по масштабам и сферам.

Таким образом, персонифицированный труд способен стать главным и основным источником богатства. При создании предпосылок для формирования нового общественно-экономического строя можно совершить дальнейшие шаги и обеспечить условия, максимально исключающие нерациональное социальное поведение. В долгосрочном развитии это приведёт к переходу от общества дефицита к обществу изобилия, для которого характерен избыток ресурсов ввиду их невостребованности, опосредованной невозможностью организации крупных капиталистических структур за счёт устранения принуждённого труда и возникновения новых отношений права собственности.

Максимальный уровень автоматизации в рамках жилых и производственных кластеров позволит минимизировать количество нужных для их обслуживания физических и административных ресурсов. Высокоэффективная мобильность станет инструментом для освоения отдалённых территорий, тем самым снижая искусственно созданную разницу в стоимости земли. Следуя новой логике и с избытком получая всё необходимое для жизни в рамках своего поселения, человек обретёт высочайшую степень автономии, так что роль государства и корпораций неизбежно уменьшится. Люди более не будут принуждены к труду, традиционно выступавшему системообразующим фактором формирования права собственности, поскольку любая собственность основана на труде или, по крайней мере, приобретает ценность только благодаря ему.

Участок земли, лесные угодья или месторождения нефти имеют ценность только тогда, когда на них работают землепашец, лесоруб или бурильщик. Установление права собственности – это, по сути, присваивание результатов труда (своего либо чужого). Если своего, то это выглядит как нечто заданное самой природой. Если чужого – как нечто противоестественное и как источник всех несправедливостей. Тогда государство, желающее организовать справедливую систему собственности, должно выстраивать её в чёткой и строгой привязке к труду, его характеру, качеству и количеству.

Предполагаемые основополагающие постулаты нового права собственности:

- права собственности должны распространяться только на те материальные объекты, которыми человек непосредственно пользуется, вне зависимости от целей, которые он вправе выбирать для себя сам;
- непосредственное использование объектов собственности означает физическое или интеллектуальное участие в применении их свойств, чтобы получить те или иные продукты либо услуги для собственного потребления либо последующей продажи. Извлечение прибыли из оценки, сбыта, а также от сдачи в аренду каких-либо продуктов или услуг не может быть отнесено к непосредственному использованию, а является опосредованным;
- материальные объекты, не задействованные человеком, но закреплённые за ним, должны быть переданы другому человеку или группе людей через продажу, аукцион или иным общепринятым способом;
- объекты, приобретённые с целью сбыта или коллекционирования, могут стать собственностью только в качестве таковых. При этом прибыль от деятельности производственных объектов не присваивается собственником, если он не принимает в этой деятельности участия, и распределяется среди участников производства;
- предметы собственности могут передаваться по наследству при условии, что вступающий в наследование или его опекуны будут непосредственно пользоваться этими предметами;
- деньги и ценные бумаги могут являться предметом собственности, храниться и обмениваться на товары или услуги, поскольку предназначение денег и ценных бумаг в том и состоит, чтобы храниться или обмениваться.

Создание системы права собственности, основанного на перечисленных постулатах, сделает невозможным возникновение крупных субъектов капитала в лице государств и корпораций. Это приведёт к устранению ключевых причин социального неравенства и вытекающих из него конфронтаций как нерациональных действий. Ограничив сферу экономической субъектности, государства окажутся вынужденными ориентироваться не на обеспечение собственного суверенитета и наращивание экономической мощи, а на реализацию общезначимых в масштабах Земли проектов, таких как ОТС.

Как построить линейные города и сделать так, чтобы люди захотели в них жить

Любые большие социальные трансформации начинаются с создания ячеек нового уклада. В рамках программы «ЭкоМир» роль таких очагов формирования предлагаемого социально-экономического строя, как показано выше, выполняют кластеры линейных городов. Логика перехода цивилизации к данной форме организации пространства жизни сообществ не будет принципиально отличной от той логики, которая определяла специфику рассредоточения людей в предшествовавшие эпохи. Она обусловлена рядом факторов, среди которых наиболее важны эффективность присущего системе способа производства и транспортная доступность территорий.

В последние несколько веков устойчивой тенденцией считалась урбанизация. Люди массово переселялись из деревень в города, так как там сосредоточивались основные производительные силы, а соответственно, и рабочие места. Это сопровождалось развитием транспорта, в первую очередь автомобилизацией, которая позволяла расширять сферу транспортной доступности и обеспечивать значительный территориальный рост городов, ведь за комфортное время стало возможным покрывать расстояния в десятки километров. Такие изменения носили продуктивный характер и в целом смогли существенно повысить уровень жизни населения. Вместе с тем, как и любая другая тенденция в развитии, урбанизация имеет свои пределы и ограничения. На каком-то этапе города оказываются перенаселены, загрязнены и некомфортны для большинства их жителей. В связи с этим диаметральный поворот в направлении переезда и переход к деурбанизации многими видится перспективным. Однако она должна быть проведена не как откат вспять, а только как движение вперёд, диалектическое снятие со становлением новых производительных сил и соответствующих им моделей расселения.

Линейные города предполагают пространственную и отраслевую децентрализацию производств. Сельскохозяйственный и энергетический сектора в данной логике должны перейти под управление общинного типа, что создаст предпосылки для реорганизации в сфере услуг, тяжёлой и лёгкой промышленности. Единственная отрасль экономики, которая должна продолжать развиваться и управляться централизованно, – это транспорт. Только он требует координации на большом пространстве, тогда как всё прочее при определённой настройке нормативно-правового инструментария способно эффективно существовать очагами, оформленными в территориальных единицах кластерного типа. За счёт развития сети высокоскоростных перевозок (до 360 км/ч) возможно выстраивание действенных цепочек предоставления услуг, поставок сырья и комплектующих, а также сбыта продукции, которые будут простираться на сотни километров. В них на наиболее подходящих для этого территориях планируется расположить кластеры различной специализации – сырьедобывающие, промышленные, культурно-образовательные и др. Район проживания человек сможет выбирать в непосредственной близости к месту работы, а если это в исключительных случаях окажется по каким-то причинам невыполнимым, то расстояние комфортной транспортной доступности всё равно составит не десятки (как в современных мегаполисах), а сотни километров.

Образ и среда жизни в кластерах будут принципиально отличаться от городских и напоминать деревенский уклад. Небольшое количество жителей, пешеходные пространства, здоровая пища собственного производства, нетронутая природа в шаговой доступности. Человек сможет жить в естественном и особенно подходящем для него природном окружении, при этом за счёт недорогого, безопасного и экологичного высокоскоростного транспорта имея доступ ко всем благам цивилизации: образованию, культуре, отдыху, развлечениям и др. Такое предложение, безусловно, будет востребовано, так что перспектива массовой деурбанизации оказывается в рамках программы «ЭкоМир» не только возможной, но и технологически обоснованной.

Переход к новым формам пространственно-регулятивной организации социума может осуществляться двумя путями – через государственные программы и через реализацию отдельных девелоперских проектов за счёт средств будущих жильцов возводимых кластеров. Во втором варианте главным стимулом к покупке недвижимости нового типа и переезду выступит гарантия круглогодичного обеспечения здоровой сельскохозяйственной продукцией, а также получения своеобразного пассивного дохода благодаря сбыту её излишков. По оценке отдела аналитики ЗАО «Струнные технологии» (г. Минск, Беларусь), при стоимости жилья, сопоставимой со среднерыночной (примерно 1000 USD/м^2), пассивный доход для каждого дома (семьи) в таком кластере может превышать 10 000 USD в год. Это означает, что покупатель жилья за 10-летний срок будет способен полностью компенсировать расходы на его приобретение и в дальнейшем сделать его источником своих доходов.

С точки зрения управления кластерами линейного города наиболее оптимален вариант, при котором функции власти выполняются на месте силами живущих там же людей. Централизованная система окажется неэффективной, так как при небольшой площади кластеров и значительном их удалении друг от друга это потребует слишком больших ресурсов. В случае же самоуправления мы получим

вариант социальной ячейки, напоминающей общину, в некоторых социально-философских учениях выступающую в качестве государственно-правового идеала. В частности, «для славянофилов община являлась традиционным институтом, обеспечивающим связь времён, преемственность поколений, средством интеграции отдельных индивидов в единую (соборную) систему общественных отношений, сочетания частных (индивидуальных) и общественных (публичных) интересов, регулятором социальных отношений и конфликтов между трудом и капиталом, крупными земельными собственниками, мелкими землевладельцами и сельскими пролетариями, формой коллективного общественного труда, средством обеспечения общинников, нуждающихся в посторонней социальной помощи, органом общественного (регионального) самоуправления» [21].

Общины могут иметь различные формы воплощения, но сущность их будет неизменной – древнейшая и естественная форма организации совместного проживания людей. Те же славянофилы указывали на это, отмечая, что «ещё в период своего формирования древнерусская государственность основывалась на городских и сельских общинах (мирах, вервях), которые (соответственно) решали вопросы городского управления, налогообложения (податей), распоряжались городским имуществом, создавали военное ополчение, судебные органы, распределяли и перераспределяли сельскохозяйственные земельные участки между общинниками, организовывали совместное пользование земельными, лесными, пастбищными, сенокосными и водными угодьями, осуществляли раскладку общинных и государственных повинностей и податей, контролировали их исполнение, выполняли правоохранительные функции, обеспечивали поддержание должного общественного порядка, осуществляли розыск преступников и т. д.» [21].

Русский публицист Ю.Ф. Самарин говорил, что любые формы общины – это «моменты постепенного расширения одного общинного начала, одной потребности жить в согласии и любви, потребности, осознанной каждым членом общины как верховный закон, обязательный для всех и носящий своё оправдание в самом себе, а не в личном произволе каждого» [21]. В то же время идеологи славянофильства, такие как А.С. Хомяков, подчёркивали важность сохранения в общинах пространства для частных инициатив. «Личная деятельность и предприимчивость должны иметь свои права и свой круг действия; довольно того, что они будут всегда находить точку опоры в сельском мире и что в нём же или через него они будут мириться с общественностью, не вырастая никогда до эгоистической разъединённости», – утверждал философ [22].

Гармоничное единство коллективных и частных интересов – одна из первостепенных задач общественного строительства в целом. В рамках программы «ЭкоМир» она решается как на пространственно-территориальном, так и на поведенческом уровне, чем обеспечивается устранение предпосылок иррациональных социальных действий и становление ноосферы как сферы разума.

Заключение

Реализация аспектов программы «ЭкоМир», связанных с развитием новых форм расселения и внедрением более совершенных транспортных, энергетических и сельскохозяйственных технологий, закладывает основы для формирования рыночных ниш с высокой ёмкостью. Одновременно с этим предлагаемые в рамках ЭкоМира условия существования человека способны привести к возникновению качественно нового субъекта рынка труда, чьи базовые потребности в пище, доме и социальной жизни будут удовлетворены по умолчанию.

Автономность жилья в линейных городах и достигаемое за счёт этого уменьшение принуждения к труду должны постепенно повлечь за собой усиление роли самоуправления и снижение участия государств и крупного частного капитала в социально-экономической жизни. Это станет предпосылкой оформления общественного запроса на пересмотр системы права собственности в целях предотвращения в дальнейшем концентрации большого количества ресурсов и капитала (сверхбогатств) в распоряжении любого отдельного субъекта хозяйствования и сокращения неравенства как одной из основных причин общественного иррационального поведения на глобальном уровне. Так будут созданы базовые условия для установления конструктивной социально-экономической модели нового типа, в которой за счёт резкого снижения уровня неравенства спадёт напряжение, уменьшится число конфликтов и войн. Всё это ускорит реализацию главных пунктов программы «ЭкоМир», связанных с масштабной мирной экспансией человечества в космос, выносом на орбиту вредоносных для природы промышленных производств и открытием доступа к неисчерпаемым пространственным, сырьевым, энергетическим и принципиально новым (невесомость, глубокий вакуум, технологическая чистота и др.) ресурсам.

Выполнение одних пунктов программы «ЭкоМир» неизбежно повлечёт за собой воплощение других. Внедрение технологий, предлагаемых инженерной школой Юницкого, выступит драйвером политических изменений. В свою очередь, они будут способствовать нарастанию усилий в движении к общей цели – превращению земной цивилизации в космическую. ЭкоМир, таким образом, можно рассматривать одновременно и как основу, и как горизонт трансформации господствующей в мире социально-экономической модели в сторону её всё большей гуманизации и рационализации.

Список основных источников

1. *Юницкий, А.Э. Программа «ЭкоМир» / А.Э. Юницкий. – Минск, 2024. – 64 с.*
2. *Ноосфера [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://iphlib.ru/library/collection/newphilenc/document/HASH0186d374c46fab35e34e2d86. – Дата доступа: 11.08.2024.*
3. *Переписка В.И. Вернадского с Б.Л. Личковым. 1940–1944. – М.: Наука, 1980. – 224 с.*
4. *Вернадский, В.И. Научная мысль как планетное явление / В.И. Вернадский. – М.: Наука, 1991. – 272 с.*
5. *Яншина, Ф.Т. Ноосфера Вернадского: утопия или реальная перспектива? / Ф.Т. Яншина // Общественные науки и современность. – 1993. – № 1. – С. 163–173.*
6. *Юницкий, А.Э. Цивилизационная ёмкость космического дома по имени Планета Земля / Анатолий Юницкий. – Минск, 2021. – 148 с.*
7. *Маркс, К. Манифест Коммунистической партии [Электронный ресурс] / К. Маркс, Ф. Энгельс. – Режим доступа: https://www.marxists.org/russkij/marx/1848/manifesto.htm. – Дата доступа: 11.08.2024.*
8. *Нартов, Н.А. Геополитика [Электронный ресурс] / Н.А. Нартов, В.Н. Нартов. – Режим доступа: https://yanko.lib.ru/books/politologiya/nartovu-geopolitika-2007-a.htm. – Дата доступа: 11.08.2024.*
9. *Краткий философский словарь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://istmat.org/files/uploads/59359/kratkiy_filosofskiy_slovar_1951g.pdf. – Дата доступа: 11.08.2024.*
10. *Маркс, К. Критика Готской программы [Электронный ресурс] / К. Маркс. – Режим доступа: https://www.marxists.org/russkij/marx/1875/gotha.htm. – Дата доступа: 11.08.2024.*
11. *Ленин, В.И. Государство и революция [Электронный ресурс] / В.И. Ленин. – Режим доступа: https://vkpb-skb.ru/images/pdf/Lenin_pss/tom33.pdf. – Дата доступа: 11.08.2024.*
12. *Катасонов, В. Инклюзивный капитализм как идеология Великой Перестройки [Электронный ресурс] / В. Катасонов. – Режим доступа: https://nb159.ru/rubric/finance/inklyuzivnyj-kapitalizm-kak-ideologiya-velikoj-perestrojki/. – Дата доступа: 11.08.2024.*
13. *Троцкий, Л. Война и Интернационал [Электронный ресурс] / Л. Троцкий. – Режим доступа: https://iskra-research.org/Trotsky/voina-1914/index.shtml. – Дата доступа: 11.08.2024.*
14. *Кул, Г. Война показывает несостоятельность капитализма [Электронный ресурс] / Г. Кул. – Режим доступа: https://socialist.news/histheory/base/war-failure-capitalism. – Дата доступа: 11.08.2024.*
15. *List of Famines [Electronic resource]. – Mode of access: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_famines. – Date of access: 11.08.2024.*
16. *Зелёная революция [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://alphapedia.ru/w/Green_Revolution. – Дата доступа: 11.08.2024.*
17. *В 2023 году голодала пятая часть населения 59 стран мира [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ungeneva.org/ru/news-media/news/2024/04/92805/v-2023-godu-golodala-pyataya-chast-naseleniya-59-stran-mira. – Дата доступа: 11.08.2024.*
18. *Hunt, M. The World Transformed: 1945 to the Present [Electronic resource] / M. Hunt. – Mode of access: https://archive.org/details/worldtransformed0000hunt/page/442/mode/2up. – Date of access: 11.08.2024.*
19. *World's Richest 1 % Own 40 % of All Wealth, UN Report Discovers [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.theguardian.com/money/2006/dec/06/business.internationalnews. – Date of access: 11.08.2024.*
20. *Доклад о неравенстве в мире. 2022 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://wir2022.wid.world/www-site/uploads/2021/12/Summary_WorldInequalityReport2022_Russian.pdf. – Дата доступа: 11.08.2024.*
21. *Андреев, Н.Ю. Община в системе государственно-правового идеала славянофилов [Электронный ресурс] / Н.Ю. Андреев. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/obschina-v-sisteme-gosudarstvenno-pravovogo-ideala-slavyanofilov/viewer. – Дата доступа: 11.08.2024.*
22. *Хомяков, А.С. Полное собрание сочинений: в 8 т. / А.С. Хомяков. – М.: Унив. тип., 1900. – Т. 3. – 504 с.*

УДК 159.96:316.6+629.7

Влияние космоса на человека: психологические аспекты образа жизни людей в новой среде

И.А. Коктыш

ЗАО «Струнные технологии»,
г. Минск, Беларусь

Рассмотрено влияние факторов длительного проживания в околоземном пространстве на психоэмоциональное состояние человека. Изучены закономерности воздействия на психику космонавтов как в условиях модельных экспериментов, так и в реальных полётах. Проанализированы особенности поведения и взаимосвязи участников экипажа. На основе опыта зарубежной пилотируемой космонавтики обозначен комплекс средств, которые применяются наземной службой управления полётами для устранения негативных эффектов, возникающих вследствие длительного пребывания людей в искусственной среде обитания. Описаны практические рекомендации психологической поддержки, позволяющие облегчить адаптацию жителей ЭкоКосмоДома к условиям, отличным от земных.

Сформулированные выводы и предложения нацелены на улучшение психологического состояния человека, обеспечение его комфортной жизнедеятельности и сохранение работоспособности в ходе осуществления программы uSpace.

Ключевые слова:
индустриализация космоса, космическая психология, космическое пространство, психика, психологическая поддержка, психологическое состояние, ЭкоКосмоДом (ЭКД).

UDC 159.96:316.6+629.7

Influence of Space on Humans: Psychological Aspects of Life in New Environment

I. Koktysh

Unitsky String Technologies Inc.,
Minsk, Belarus

This study examines the impact of factors associated with prolonged habitation in near-Earth space on the psychoemotional state of individuals. It investigates the patterns of psychological effects on astronauts both in model experiments and in real space flights. The analysis includes the peculiarities of behavior and interactions of crew members. Drawing from the experience of international human spaceflight programs, a comprehensive set of tools utilized by ground flight control teams to mitigate negative influence arising from extended stays in artificial living environments is outlined. Practical recommendations for psychological support are provided to facilitate the adaptation of residents in EcoCosmoHouse to conditions that differ from those on Earth.

The formulated conclusions and proposals aim to enhance individuals' psychological well-being, ensure their comfortable existence, and maintain their performance during the implementation of the uSpace program.

Keywords:
EcoCosmoHouse (ECH), outer space, psyche, psychological state, psychological support, space industrialization, space psychology.

Введение

В начале второй половины XX в. человечество открыло новую страницу в истории своего развития – исследование космического пространства. Сегодня активное освоение Вселенной и познание законов жизни за пределами земной цивилизации становятся всё более актуальными направлениями для изучения. Это общемировая тенденция. К.Э. Циолковский утверждал, что люди изменят поверхность Земли, её океаны, растения и самих себя. Они будут управлять климатом и распоряжаться в пределах Солнечной системы так же, как и на самой Земле, которая ещё очень долго будет являться жилищем человечества [1].

Организация деятельности в космических масштабах как закономерный этап развития планетарной цивилизации затрагивает множество аспектов: технические, финансовые, социальные и иные, в том числе психологические. Эмоциональное состояние человека вне рамок планеты Земля, влияние длительных полётов на его психику становятся предметом экспериментов в области нейрофизиологии, психологии, космической медицины, космологии и даже философии [2]. Вопрос адаптационных механизмов, позволяющих свести к минимуму негативное воздействие различных факторов для успеха будущих внеземных миссий, всё чаще поднимается в научных исследованиях.

Изучение жизнедеятельности человека в условиях Вселенной нашло своё отражение в трудах родоначальника современной космонавтики К.Э. Циолковского, основателя космической биологии и гелиобиологии А.Л. Чижевского, одного из создателей эволюционной физиологии Л.А. Орбели, основоположников космической медицины О.Г. Газенко и В.И. Ядзовского, видного специалиста в области авиационной физиологии А.А. Гюрджиана и др. [2].

В настоящей статье описаны результаты анализа влияния факторов длительного проживания в околоземном пространстве на психоэмоциональное состояние человека, а также обозначены практические рекомендации, которые позволят облегчить адаптацию жителей ЭкоКосмоДома (ЭКД) к новой среде.

Психологические исследования функциональных состояний космонавтов

О том, что люди могут не выдержать нахождения в космосе, задумывались ещё до полёта Ю.А. Гагарина. Были сомнения, способен ли человек адаптироваться к резко изменённым (экстремальным) условиям существования, однако первое путешествие на орбиту подтвердило, что он не просто выживет после полёта, но и сможет успешно работать в околоземном пространстве. Освоение новой среды вызвало необходимость исследования особенностей психической деятельности людей в ней.

Впервые закономерности психического состояния космонавтов как в ходе длительных модельных экспериментов, так и в реальных полётах стала изучать космическая психология. Большой вклад в развитие данного направления внёс Ю.А. Гагарин. Перед историческим полётом он ставил на первое место вопрос решения не физиологических, а психологических проблем. Не нарушатся ли психические функции человека во время космической миссии? Сможет ли он жить и работать за пределами Земли?

Ю.А. Гагарин принял активное участие в составлении психограммы космонавта-профессионала для получения ответов на вопросы: какие задачи должен решать космонавт во время полёта; какими психологическими качествами и характерологическими особенностями он должен обладать и др. Выяснилось, что космонавт должен уметь управлять летательным аппаратом во время различных манёвров в пространстве и многочисленными системами на корабле и орбитальной станции; уметь выполнять ремонтные и монтажные работы не только внутри корабля или станции, но и в открытом космическом пространстве; быть способным осуществлять научно-исследовательские работы по многим отраслям науки; проводить испытания новых кораблей и технических систем. «Кроме того, – считал Ю.А. Гагарин, – космонавт должен обладать высокими чисто человеческими качествами и, конечно, иметь большое желание летать в космосе». Составление психограммы космонавта позволило усовершенствовать систему психологического отбора [3].

После гибели Ю.А. Гагарина его коллеги подхватили эстафету развития космической психологии. Так, А.А. Леонов, выполнивший первый выход в открытый космос и совершивший полёт по программе «Союз – Аполлон», написал ряд статей и четыре монографии по данной тематике, в том числе в содружестве с психологом-космонавтом Е.В. Хруновым [4]. Начальник Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина Г.Т. Береговой защитил диссертацию по космической психологии. Статьи подобной проблематики опубликовали В.И. Севастьянов, П.Р. Попович, Ю.П. Артюхин, Б.В. Волынов, Ю.Н. Глазков и др. [5].

Уже к 1970 г. под влиянием Ф.Д. Горбова – ответственного за психологическую готовность космонавтов первого отряда – сформировались коллективы, занимающиеся решением практических (в Центре подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина) и научных (в Институте медико-биологических проблем) задач [6]. Начальные теоретические взгляды и практические приёмы космической психологии основывались на прикладной работе с военными лётчиками и знаниях военной медицины (например, Центрального научно-исследовательского авиационного госпиталя ВС СССР).

Опираясь на проведённые модельные эксперименты и реальные полёты, специалисты пришли к выводу, что существует прямая связь между психическим здоровьем космонавтов и эффективностью их деятельности по выполнению конкретных операций и реализации программы освоения околоземного пространства в целом.

В ходе миссий на долговременных орбитальных станциях «Салют», «Мир» и Международной космической станции (МКС) отмечалось отсутствие негативных изменений самочувствия экипажей в психологическом плане. Нештатные ситуации, возникавшие в полёте и относившиеся к так называемому человеческому фактору, составили менее 18 % от общего количества [7]. Частота упоминаний о психологических проблемах была низкой, а иногда они вовсе отсутствовали. Однако стоит обозначить, что число нештатных ситуаций могло быть в ряде случаев недооценено ввиду нежелания космонавтов рассказывать о них. Всё это не исключает и вероятности развития негативных психологических состояний у участников полётов, ведь в процессе наземных экспериментов они подтверждали, что самые большие проблемы при длительных испытаниях – именно психологические.

Авторы многих научных трудов приходят к выводу, что продолжительные космические полёты имеют широкий спектр отрицательных воздействий на психоэмоциональное благополучие членов экипажа. Н.В. Ераховец проанализировала социальные и психологические проблемы, которые возникали в экспериментах, проводимых на Земле в закрытых экосистемах, таких как «БИОС-3» и «Биосфера-2». На общее состояние людей здесь влияли как факторы внешней среды (недостаток кислорода, продуктов питания, тяжёлый ежедневный труд), ведущие к ослаблению здоровья и, как следствие, к подавленному настроению, так и межличностные отношения. Трудности, с которыми сталкивались испытатели, разделяли их на группы с противоположными мнениями и порождали конфликты. Эти разногласия провоцировали ещё большее ухудшение и так подорванного здоровья [8].

Негативное воздействие длительных космических полётов на психику человека также подтвердил эксперимент «Марс-500», в ходе которого участники 520 дней находились в изоляции в замкнутом пространстве. Был детально изучен и нашёл убедительное подтверждение феномен «отрыва от Земли». Под ним исследователи, описавшие такое явление, подразумевают, что по мере удаления от планеты есть вероятность снижения рабочей мотивации и общей активности экипажа, игнорирования указаний службы управления полётами и преобладания самостоятельности в принятии решений, излишней переоценки своих возможностей. Происходит это на фоне прогрессирующего нарастания чувства изолированности и тоски по оставшимся на Земле родным и близким.

В 1967 г. в Институте космической биологии и медицины стартовал схожий проект под названием «Год в земном звездолёте». Трое добровольцев находились в течение года в макете космического корабля площадью всего 12 м^2. В ходе эксперимента выявлено, что замкнутое пространство негативно влияло на межличностные отношения участников. Общение между ними часто сопровождалось конфликтами, люди оказались подвержены возникновению депрессии. «...Периоды неприязни друг к другу доходили порой до «слепой ненависти» и «физического отвращения». В такие моменты тесное общение, невозможность физически изолироваться от других было особенно тяжёлым испытанием» [9]. Спустя некоторое время участники опыта вовсе перестали поддерживать коммуникацию друг с другом, обменивались парой фраз исключительно по работе.

Воздействие на психику человека факторов проживания в околоземном пространстве

В таблице приведены группы рисков, связанных с психической сферой человека при длительном пребывании в околоземном пространстве, а также обозначены факторы, формирующие описанные риски и оказывающие колоссальное негативное влияние на психологическое состояние космонавтов.

Отдельно стоит отметить, что в международном коллективе ситуация осложняется ещё языковым и культурным барьером. Непонимание традиций и особенностей восприятия людей разного происхождения, психологическая несовместимость экипажа, отсутствие свободного общения могут привести к напряжению, социальному обособлению, нехватке эмоционального контакта, эгоцентризму и появлению новых конфликтогенов.

Таблица – Риски, возникающие при длительном пребывании человека в космосе, и факторы, их вызывающие

Группы рисков	Провоцирующие факторы
Риск развития психических расстройств, связанных с воздействием радиации.	Состояние невесомости, которое ведёт к снижению нагрузки на сердечно-сосудистую систему, что в свою очередь угнетает обратную афферентацию и вследствие этого – психическую деятельность.
Риск принятия ошибочных решений, вызванных недостатком сна, утомлением, десинхронозом и избыточной рабочей нагрузкой.	Сенсорная депривация. Резкое уменьшение количества раздражителей в однообразной среде вызывает такое явление, как сенсорный голод. В итоге активность работы больших полушарий снижается, наблюдаются утрата интересов, апатия, эмоциональная лабильность и повышенная раздражительность.
Риск развития неблагоприятных поведенческих и психиатрических состояний/заболеваний, вызванных комплексным воздействием факторов полёта.	Условия замкнутого пространства, отсутствие социальной дистанции могут вызывать отрицательную реакцию в виде агрессии и напряжения. При длительном действии это ведёт к минимизации потребности в коммуникации с участниками экипажа, вплоть до полного разрыва.
Риск возникновения негативных ситуаций, обусловленных недостаточным уровнем группового сотрудничества, неадекватностью отбора/комплектования команды, несоответствием подготовки космонавтов и низкой психологической адаптацией [7]	Наличие социальной изоляции. Как результат – потеря важных психических связей с привычным кругом общения (родными, близкими, коллегами, друзьями и др.).
	Ощущение «отрыва от Земли», обособленность от привычных природных элементов, таких как просторы неба, дальность горизонта, что провоцирует возникновение растерянности и мрачных предчувствий.
	Невозможность разнообразить круг общения на протяжении определённого времени, что способствует повышению напряжения в коллективе и, соответственно, может пагубно сказаться на успехе миссии.
	Чувство одиночества. Его не удаётся избежать, так как общение между участниками полёта происходит остаточно редко. Это связано с тем, что пока один из сотрудников выполняет задание, второй находится на дежурстве, а свободный в это время спит. Приём пищи также осуществляется раздельно. Как следствие, появляется чувство духовной изоляции, снижается работоспособность.
	Наличие постоянной реальной угрозы для жизни (метеориты, радиация и др.), состояние тревоги и настороженности могут провоцировать возникновение различных фобий. Например, космонавтов, участвующих в полёте впервые, может охватить страх неизвестности. При этом такая острая реакция на стресс, как «бей или беги», на психофизическом уровне происходит в организме хаотично, что приводит к нарушениям в его функционировании.
	Автономность в работе и отсутствие связи с наземными службами управления полётом в реальном масштабе времени. Необходимость самостоятельного оперативного принятия решения при нештатных и аварийных ситуациях.
	Монотонность выполняемой работы и недостаток новой информации вследствие изоляции в рамках одного экипажа. Острая нехватка впечатлений, событий, информационный голод.
	Отсутствие доказательных данных об устойчивости психики человека к осознанию момента после ухода с земной орбиты и пониманию невозможности экстренной посадки. При этом космонавты должны уметь быстро адаптироваться к новой среде и продолжать все необходимые шаги по выполнению программы полёта.
	Появление чувства ностальгии при длительном пребывании в космическом пространстве

Результатом влияния вышеперечисленных факторов могут быть снижение эффективности деятельности космонавтов, возникновение трудностей со сном, переменчивость настроения, беспокойство, нервозность, уныние, апатия.

Анализ опыта реальных полётов и длительных модельных экспериментов показывает, что на данный момент как никогда становится актуальной тема поиска путей улучшения психологического самочувствия человека, обеспечения его комфортной жизнедеятельности и сохранения работоспособности в искусственных физических средах.

Поскольку следующим этапом развития освоения околоземного пространства должна стать геокосмическая программа uSpace, которая подразумевает длительное проживание людей в ЭКД, требуется тщательное изучение современных методов диагностики психоэмоционального состояния, а также оказания психологической помощи для успешной адаптации к новой среде, коррекции процесса в случае необходимости, снижения уровня стресса и выстраивания гармоничных взаимоотношений внутри социума.

Как представляется, вышеописанные факторы должны нивелироваться с помощью системы психологической поддержки космонавтов. При этом её основные направления стоит рассматривать, учитывая ранее полученный опыт, чтобы не расходовать ресурсы на проработку уже изученных и испытанных идей и решений.

Далее приведены существующие меры такой поддержки, которые впоследствии могут быть применимы и к жителям ЭКД.

Психологическая поддержка как способ профилактики неблагоприятного воздействия на психику факторов длительного проживания на околоземной орбите

Психологическая поддержка – комплекс средств, которые используются наземной службой управления полётами для устранения негативных эффектов из-за длительного пребывания космонавтов в искусственной среде обитания, а также для сохранения их психологического здоровья, социализации, хорошего самочувствия, настроения, поддержания эмоционального и рабочего тонуса, обеспечения благоприятного психологического климата на борту.

С целью получения информации о возможных методах психологической поддержки жителей ЭКД рассмотрен опыт зарубежной пилотируемой космонавтики.

Следует отметить, что используемые сегодня меры такой поддержки формировались и внедрялись как благодаря практике медико-психологического сопровождения длительных космических полётов, так и на основе анализа данных наземных экспериментов, в ходе которых искусственно моделировались неблагоприятные условия полёта.

Среди факторов поддержки выделяют материальные и нематериальные. К первым относится обустройство космических кораблей и станций, их интерьер, наличие личного пространства, средств для работы, отдыха и спортивных занятий. К нематериальным факторам стоит отнести позитивную коммуникацию между членами экипажа, а также возможность связи с Землёй.

Таким образом, для комфортного проживания и благоприятного психологического состояния жителей ЭКД его пространство должно включать определённые компоненты (рисунок).

Среда обитания человека способна стать комфортной только при максимально полном моделировании биосферы планеты, в том числе всего богатства флоры и фауны, которые не могут быть сформированы в жилищах типа современных космических станций. Создание общепланетарного транспортного средства позволит строить более совершенные сооружения.

В результате гармоничного планирования пространства ЭКД закрытая экосистема в сочетании с существующими техническими достижениями цивилизации будет максимально приближена к земным условиям и приспособлена для длительного проживания человека. Это значит, что огромная часть проблем (тесное пространство, ограниченный круг общения, отсутствие гравитации и привычной земной пищи и др.) будет решаться ещё на этапе проектирования ЭКД.

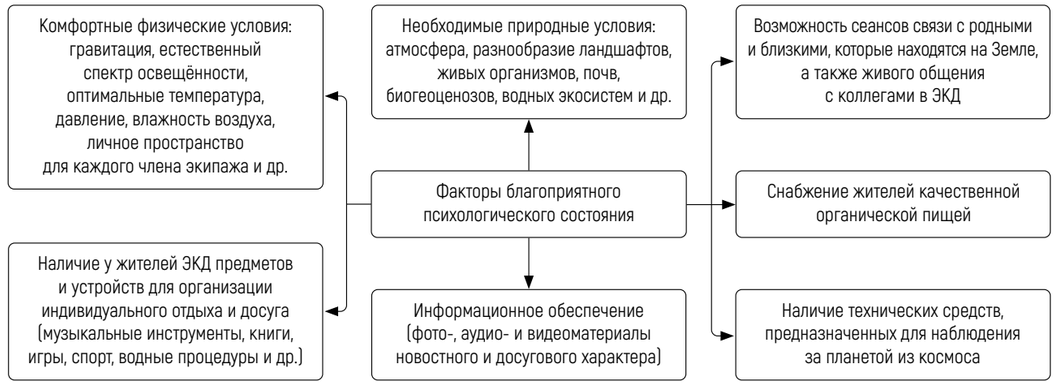


Рисунок – Факторы благоприятного психологического состояния жителей ЭКД

Предложенное планировочное решение вместит в себя большое количество различных биологических и антропогенных экосистем. Соответственно, сформированная в ЭКД среда станет благоприятной для людей.

Кроме этого, одной из первостепенных задач должно стать налаживание гармоничных отношений между людьми, которые живут поблизости. В такой ситуации особое значение приобретают мероприятия по формированию коллективов с высокой степенью психологической и рабочей совместимости, так называемой совместимости в малых группах, которая требует тщательного психологического отбора кандидатов.

В решении подобной задачи эффективным методом может стать соционика. В более широком смысле под ней понимают науку о типах психоинформационных систем (человек, коллектив, этнос, государство) и взаимодействиях между ними, или науку о типах информационного метаболизма.

Соционика на основе информационных моделей психики выдвинула теорию интертипных отношений, которая позволяет спрогнозировать психологическую и рабочую совместимость между людьми. В соответствии с данной теорией соционика помогает формировать устойчивые коллективы с высокой трудоспособностью и комфортным социально-психологическим климатом, что особенно актуально для замкнутых групп: космонавтов, моряков, геологов, полярников и др. Ещё более важно это при экстремальных ситуациях, где человеческий фактор играет решающую роль.

Теоретические прогнозы интертипных отношений проверялись с помощью модельных экспериментов, в которых собирались отдельные группы и анализировались взаимосвязи их участников, обмен информацией, динамика общения и поведения. В ходе исследований отмечались группы, схожие по стилю когнитивной деятельности, мотивации к работе, характеру аргументации; группы, способствующие отдыху и релаксации. Кроме этого, выделялись группы, присутствие в которых ухудшает коммуникацию и самочувствие участников, а также осложняет сотрудничество.

Согласно теории интертипных отношений создавались реальные коллективы. Например, с 1992 г. в условиях Крайнего Севера специалисты Международного института соционики формировали или реорганизовывали производственные и управленческие подразделения, которые состояли из более чем 150 малых групп. Основой послужили принципы психоэмоциональной и рабочей совместимости с последующим мониторингом в течение 5–7 лет. Установлено, что соционика и её практические технологии дают возможность решать такие задачи, поскольку не только показывают информационную структуру психики, но и прогнозируют особенности информационного и психоэмоционального взаимодействия между людьми – от взаимопонимания до конфликта, включая описание динамики и маркеров развития конкретных трудовых и межличностных отношений [10].

Таким образом, формирование в ЭКД групп на основе теории интертипных отношений – фундамент для создания сплочённого коллектива. Люди, гармонично проживающие в организованном пространстве, продолжат повышать качество взаимоотношений между собой. Малые группы, имеющие схожие интересы, удовлетворят свои социальные потребности.

Особое значение в условиях нахождения людей в ЭКД приобретают мероприятия по мониторингу и оценке их психоэмоционального состояния. Источником для диагностики могут стать приватные конференции психологов с каждым из членов экипажа. В частности, в западной психиатрической практике введённые по инициативе NASA подобные консультации сегодня представляют неотъемлемую часть системы психологической поддержки.

Обычно в ходе бесед обсуждаются такие темы, как психологические особенности текущего этапа пребывания на орбите, качество сна, переживания во время космического полёта и др. Приватные конференции помогают более эффективно влиять на актуальные психологические проблемы человека в условиях стресса, позволяют преодолевать проблемы коммуникации, повышают психологическую устойчивость и мотивацию.

При этом, по нашему мнению, стоит рассмотреть необходимость включения в состав экипажа ЭКД штатных врачей, сертифицированных в области клинической психологии и оснащённых соответствующими средствами и оборудованием, психоневрологов, специалистов по режиму труда и отдыха. В рамках своей деятельности они будут осуществлять психоневрологический контроль – наблюдать за состоянием жителей ЭКД, поддерживать определённый уровень их работоспособности, отслеживать конфликтные ситуации и помогать их разрешать. Сегодня такая практика нашла эффективное применение на базе Центра управления полётами, где постоянно дежурит группа психологов и психоневрологов, которые слушают радиопереговоры космонавтов с Землёй и периодически сами проводят индивидуальные сеансы связи с ними. На основе анализа речи и особенностей коммуникации членов экипажа специалист может сделать значимые выводы об их психическом самочувствии, уровне стресса и взаимоотношениях в коллективе.

Заключение

Приведённый авторский анализ показывает, что вопрос психологической адаптации людей при длительном пребывании в околоземном пространстве является крайне актуальным. Психологические проблемы, возникающие во время длительных полётов, многообразны и обусловлены множеством переменных, что требует дальнейшего внимания со стороны образовательных организаций и научных сообществ. Психологическая поддержка жителей ЭКД должна быть тщательно продумана. В связи с этим необходимо продолжать изучение адаптационных механизмов, которые позволят свести к минимуму негативные последствия длительного проживания в околоземном пространстве на психику человека.

В статье проанализированы применяемые меры психологической поддержки космонавтов за более чем 50-летний период и предложены следующие научно обоснованные рекомендации по формированию здоровой психологической среды в замкнутой искусственной биосфере:

- для благоприятного проживания и эффективной работы жители ЭКД должны быть обеспечены качественной органической едой, комфортными физическими и природными условиями, предметами и устройствами для организации индивидуального отдыха, досуга и др.;
- в ряду важнейших факторов благоприятного климата в ЭКД – подбор кандидатов по психологической и рабочей совместимости; в основу принципа формирования малых групп должна лечь теория интертипных отношений, которую в своё время предложила соционика;
- источником для диагностики нюансов психоэмоционального состояния жителей ЭКД могут стать приватные конференции психолога с каждым из них;
- целесообразно включение в состав экипажа ЭКД штатных врачей, сертифицированных в области клинической психологии и оснащённых необходимыми средствами и оборудованием, психоневрологов, специалистов по режиму труда и отдыха, которые будут проводить психоневрологический контроль.

Опыт психологической поддержки жителей ЭКД можно применять на Земле для людей, работающих в условиях, схожих с условиями длительного нахождения на околоземной орбите: полярников, подводников и других лиц подобных профессий, специфических с точки зрения психологии; использовать во время пандемий, когда люди вынуждены долгое время пребывать в социальной изоляции; экстраполировать на область медицинской практики, когда пациент в ходе долгой реабилитации изолирован от коммуникации с людьми.

С учётом актуальности представленных идей, необходимости их совершенствования и апробирования рассмотренная тематика продолжит изучаться в дальнейших научных исследованиях.

Список основных источников

1. *Первова, Я.Э. Развитие человеческой цивилизации в космическом пространстве / Я.Э. Первова // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2017. – Т. 3, № 13. – С. 482–483.*
2. *Базалук, О.А. Космические путешествия – путешествующая психика: курс лекций. – Киев: КНТ, 2012. – 424 с.*
3. *Гагарин, Ю.А. Психология и космос / Ю.А. Гагарин, В.И. Лебедев. – М.: Молодая гвардия, 1971. – 208 с.: ил.*
4. *Хачатурьянц, Л.С. Экспериментальная психофизиология в космических исследованиях / Л.С. Хачатурьянц, Л.П. Гримак, Е.В. Хрунов. – М.: Наука, 1976. – 400 с.: ил.*
5. *Лебедев, В.И. Ю.А. Гагарин и космическая психология [Электронный ресурс] / В.И. Лебедев. – Режим доступа: http://www.voppsy.ru/issues/1986/862/862118.htm. – Дата доступа: 15.07.2024.*
6. *Залевский, Г.В. Фёдор Дмитриевич Горбов и его вклад в развитие медицинской (клинической) психологии / Г.В. Залевский // Медицинская психология в России. – 2018. – Т. 10, № 2 (49). – С. 1–9.*
7. *Рюмин, О.О. Вопросы психологического обеспечения пилотируемых межпланетных полётов / О.О. Рюмин // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2017. – Т. 51, № 4. – С. 15–20.*
8. *Ераховец, Н.В. Принципы построения здоровой среды для жизни, деятельности, развития и отдыха человека в условиях ЭкоКосмоДома / Н.В. Ераховец // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 139–143.*
9. *Божко, А.Н. Год в звездолёте / А.Н. Божко, В.С. Городинская. – М.: Молодая гвардия, 1975. – 160 с.*
10. *Карпенко, О.Б. Соционика для создания коллективов, авиационных и космических экипажей с высокой степенью совместимости / О.Б. Карпенко, А.В. Букалов // Менеджмент и кадры: психология управления, соционика и социология. – 2020. – № 1–2. – С. 5–8.*

УДК 378.14+629.7

Подготовка кадров для биосферной цивилизации: социокультурный и кибернетический подход

А.Ю. Потеряйко[1]

Е.В. Фоменко[2]

[1] Научная школа стратегического планирования Н.И. Ведуты, г. Москва, Россия

[2] Общественная организация учёных, педагогов и родителей «Образование – наше будущее», г. Москва, Россия

Обоснована необходимость создания новой доктрины образования в Союзном государстве России и Беларуси (далее – доктрина) с целью подготовки кадров для биосферной цивилизации. Исследуются причины текущего дефицита инженеров в космической и других отраслях материального производства. Сделан акцент на актуальности вопроса подготовки специалистов по профессиям, востребованным в будущем: в сфере реликтовой солнечной биоэнергетики, биосферного сельского хозяйства, строительства линейных городов и рельсо-струнного транспорта. Учитывая разработки инженера-изобретателя А.Э. Юницкого, предлагается научно обоснованный подход к созданию доктрины, которая отвечает требованиям к подготовке специалистов для внедрения и дальнейшего развития биосферных инженерных технологий, которые могут стать ключевыми отраслями Союзного государства, что выведет его в мировые лидеры нравственного и технологического прогресса. Раскрывается взаимосвязь фундаментальных знаний, практических навыков, творчества, нравственного воспитания, культуры и науки, определяется ведущая роль социокультурной атмосферы в образовании и необходимость кибернетического планирования для реализации грамотной образовательной политики.

В качестве основы доктрины предлагается использовать концепцию образования для суверенной России, созданную учёными – членами общественной организации «Образование – наше будущее» под руководством доктора философских наук, кандидата педагогических наук И.К. Джерелиевской. С целью увязки государственной политики в сфере образования с кадровыми потребностями отраслей применяется теория и практика кибернетического планирования – динамическая модель межотраслевого-межсекторного баланса, разработанная профессором МГУ им. М.В. Ломоносова, доктором экономических наук Е.Н. Ведутой.

Результатом внедрения новой стратегии образования в Союзном государстве станет не только постоянное улучшение его социально-экономических показателей, но и воспроизводство нравственного человека-творца для конструирования биосферного будущего нашей планеты.

Ключевые слова:
биосферная цивилизация, дефицит кадров, динамическая модель межотраслевого-межсекторного баланса, доктрина образования, Киберплан, подготовка кадров.

UDC 378.14+629.7

Personnel Training for Biosphere Civilization: Sociocultural and Cybernetic Approach

A. Poteryaiko[1]

E. Fomenko[2]

[1] N.I. Veduta Strategic Planning Scientific School, Moscow, Russia

[2] Public Organization of Scientists, Educators and Parents "Education – Our Future", Moscow, Russia

The need for a new education doctrine in the Union State of Russia and Belarus (hereinafter referred to as the doctrine) aimed at training personnel for a biosphere civilization is substantiated. The current shortage of engineers in space and other material production sectors is examined. The focus is on the importance of preparing specialists for future-demand professions in the field of relict solar bioenergy, biospheric agriculture, construction of linear cities and string rail transport. Drawing on the developments of engineer and inventor A. Unitsky, a scientifically grounded approach to the creation of the doctrine is proposed. It aligns with the requirements for training specialists in biospheric engineering technologies which have the potential to become key industries for the Union State, propelling it into global leadership in both moral and technological progress. The interconnection of fundamental knowledge, practical skills, creativity, moral education, culture and science is emphasized, along with the critical role of sociocultural atmosphere in education. Additionally, the need for cybernetic planning to implement a competent educational policy is outlined.

It is proposed that the doctrine be based on the concept of education for a sovereign Russia, developed by scientists from the public organization "Education – Our Future", led by Doctor of Philosophical Sciences and Ph.D. in Pedagogical Sciences I. Dzherelievskaya. To align state education policy with the personnel needs of various industries, the doctrine incorporates the practice of cybernetic planning – a dynamic model of interbranch-intersectoral balance developed by Professor at Lomonosov Moscow State University, Doctor of Economic Sciences E. Veduta.

The implementation of this new education strategy within the Union State will not only lead to the continuous improvement of its socioeconomic indicators but also foster the development of a moral human creator essential for building a biospheric future for our planet.

Keywords:
biosphere civilization, Cyberplan, dynamic model of interbranch-intersectoral balance, education doctrine, personnel deficit, personnel training.

Введение

Глобальные экономические и культурные изменения, влияние информационных технологий на все области жизни людей ставят перед государством задачи формирования и воспроизводства человека, отвечающего современным требованиям социума к технологическому укладу и построению биосферно ориентированной цивилизации с новой экономической моделью. Обществу нужны качественно образованные, гармонично развитые, нравственные, умелые люди, способные самостоятельно принимать ответственные решения, прогнозируя и моделируя их последствия, умеющие работать солидарно, готовые к защите своей Родины.

Эти задачи не могут быть решены без новых биосферно ориентированных технологий и новых знаний, без создания инновационной экономики, важнейшим институтом развития которой является система образования [1]. Нужно учитывать, что наука и техника сами по себе не решат всех поставленных задач. Кроме того, стоит обратить особое внимание на глубинную потребность человека в самореализации и творчестве, необходима тесная связь материальной цивилизации с культурой и духовностью [2].

Для подготовки людей с такими качествами нужна новая доктрина образования в Союзном государстве России и Беларуси (далее – доктрина), которая формулирует смысл и ценности обучения и определяет пошаговый алгоритм построения новой системы образования и результаты её реализации для граждан Союзного государства и всего мира.

Приоритет педагогических методик и методологий над целеполаганием и смыслом обучения, отсутствие увязки стратегии образования со стратегией развития государства, попытка конъюнктурной подстройки системы обучения и воспитания под постоянно изменяющиеся требования рыночной экономики, отсутствие чётко организованной и быстрой прямой/обратной связи между образовательными учреждениями и хозяйствующими субъектами привели к кадровому кризису, который можно описать так: большинство нанимателей в России и Беларуси испытывают дефицит высококвалифицированных специалистов, в том числе рабочих профессий.

Задача науки – педагогики, философии, кибернетики – создать такую систему образования, благодаря которой произойдёт качественный скачок и в уровне подготовки кадров, и, как следствие, в цивилизационном развитии Союзного государства и всего мира.

Дефицит кадров в ведущих отраслях экономики: проблемы и причины

Дефицит кадров в 2022–2024 гг. стал болевой точкой и в России, и в Беларуси. Социологические опросы и прогнозы экспертов в области труда показывают острую нехватку квалифицированных специалистов в ведущих отраслях экономики обеих стран.

Дефицит кадров в России по итогам 2023 г. составил 4,8 млн человек [3]. На рисунке 1 представлена оценка обеспеченности российских предприятий работниками в 2023–2024 гг. [4]. В публикациях СМИ говорится о том, что по сравнению с другими отраслями нехватка квалифицированных работников в большей степени наблюдается в автомобильной промышленности, производстве электрооборудования и нефтепродуктов [5].



Рисунок 1 – Оценка обеспеченности российских предприятий работниками в 2023–2024 гг.

В Беларуси острую нехватку кадров ощущали государственные организации, занятые в строительстве, сельском хозяйстве, образовании [6]. Промышленные предприятия также недоукомплектованы. Об этом свидетельствуют следующие цифры: в ОАО «МАЗ» недостаёт 13 % работников, а в ОАО «Минский моторный завод» наблюдается текучка слесарей, токарей, монтажников, электромонтёров, шлифовщиков и фрезеровщиков [7]. Всего на данный момент в стране требуется более 133 000 различных специалистов [8], что составляет 2,7 % рабочей силы [9].

Проблема нехватки кадров во многих отраслях озвучивается первыми лицами обоих государств. В августе 2023 г. глава Правительства Российской Федерации М.В. Мишустин назвал её серьёзным вызовом для экономики страны [10]. В мае 2023 г. президент Российской Федерации В.В. Путин подписал Указ № 342, в котором обозначено требование к органам государственной власти субъектов России принять дополнительные меры по созданию привлекательных финансовых, социальных и иных механизмов сохранения человеческого капитала, снижения оттока населения России за рубеж [11]. В августе 2023 г. президент заявил о необходимости обеспечить кадровый суверенитет государства, подготовив специалистов по наиболее дефицитным рабочим профессиям [12]. В начале 2024 г. в г. Туле на встрече с активистами Общероссийского народного фронта В.В. Путин сказал: «Мы должны сделать нашу страну самодостаточной, в этом главное проявление суверенитета» [13]. В апреле 2024 г. на совещании о состоянии и задачах развития промышленности президент Республики Беларусь А.Г. Лукашенко заявил о том, что в Беларуси наблюдается дефицит кадров, особенно рабочих [14].

Данные проблемы в обеих странах решаются на стратегическом уровне. В феврале 2024 г., выступая с Посланием Федеральному собранию, глава Российской Федерации анонсировал запуск нового национального проекта «Кадры» [15], который будет состоять из четырёх федеральных проектов: трудоустройство выпускников; переобучение уже работающих; снижение травматизма на производстве и сокращение потерь от временной нетрудоспособности работников; вовлечение молодёжи в предпринимательскую деятельность [16]. В Республике Беларусь утверждена Концепция государственной кадровой политики как инструмент построения целостной системы формирования и эффективного использования трудовых ресурсов, развития кадрового потенциала отраслей экономики и сфер деятельности [17].

Поскольку космическая отрасль является одной из стратегически важных для Союзного государства [18], стоит обратить особое внимание на нехватку специалистов на её предприятиях. Необходимо учитывать тот факт, что сотрудничество России и Беларуси в космической сфере началось во времена Советского Союза. Научные организации и промышленные предприятия Белорусской ССР входили в научно-производственную кооперацию предприятий СССР, занимавшихся разработкой ракетно-космической техники [19]. Договором о создании Союзного государства от 8 декабря 1999 г. задекларировано формирование и эффективное функционирование общего научного, технологического и информационного пространства России и Беларуси. Его важной составляющей должны стать космические средства и технологии [20].

Исследования по освоению ближнего космоса и выводу промышленности на околоземную орбиту с помощью общепланетарного транспортного средства проводятся в Беларуси на протяжении нескольких десятков лет учёным, инженером и предпринимателем А.Э. Юницким. Им также предложен проект экологического совершенствования нашей планеты, улучшения среды обитания и жизни людей, в который входят следующие инженерные технологии:

- реликтовая солнечная биоэнергетика;
- биосферное сельское хозяйство;
- технологии строительства линейных городов uCity;
- транспортно-инфраструктурные комплексы «второго уровня» – Струнный транспорт Юницкого (ЮСТ) [21].

Для всех направлений работы с космическими, транспортными, аграрными, строительными технологиями настоящего и будущего нужны квалифицированные и молодые кадры, имеющие широкий кругозор, фундаментальные знания и серьёзный опыт. Прорывные решения в космосе и на Земле невозможны без инженеров, досконально изучивших свой предмет и владеющих междисциплинарными знаниями.

Наиболее перспективной и требующей глубоких знаний и тщательной подготовки профессией является инженер ракетно-космической отрасли (РКО), так как именно с космосом связаны многие революционные открытия в науке и технике, совершённые в XX–XXI вв. Профессиональные направления инженеров в этой сфере разнообразны и охватывают многие специальности: физик, химик, биолог, агроном, конструктор, специалист в области информационных технологий и др.

Однако предприятия космической отрасли и в России, и в Беларуси ощущают острую нехватку сотрудников

уже не первый год. В 2023 г. спрос на специалистов по космическим аппаратам за январь – апрель вырос в пять раз по сравнению с аналогичным периодом 2022 г. За это время в России было открыто около 400 вакансий для них (инженеры, программисты и квалифицированные рабочие) [22]. В конце 2023 г. стало известно, что «развитие компетенций Роскосмоса ресурсозатратно, но в ближайшее время в отрасли будет большой кадровый голод и не будет возможности развиваться в космической сфере» [23].

На основе [24–32] авторы настоящей статьи обозначили причины нехватки персонала в РКО, разделив их на социально-экономические, философские и психологические (рисунок 2).

Ещё одной причиной сложившегося кадрового кризиса в РКО и других стратегически важных производственных отраслях в России является отсутствие увязки базовых документов, описывающих развитие образования на перспективу, со стратегией развития страны. Например, национальный проект «Образование» представляет задачу образования как «создание условий для воспитания гармонично развитой и социально ответственной личности на основе духовно-нравственных ценностей народов Российской Федерации, исторических и национально-культурных традиций» [33]. Это коррелирует с Указом президента от 9 ноября 2022 г. № 809 «Об утверждении Основ государственной политики по сохранению и укреплению традиционных российских духовно-нравственных ценностей» [34].

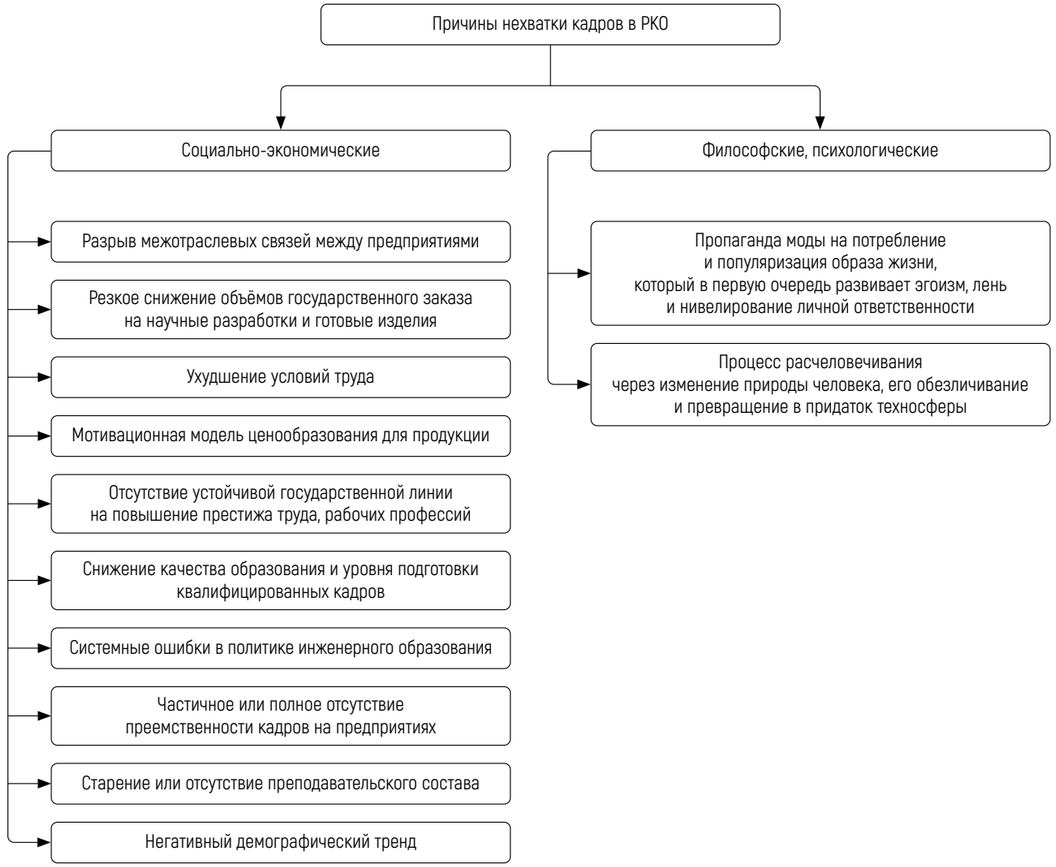


Рисунок 2 – Причины нехватки кадров в РКО России и Беларуси

Однако всё содержание документа, включая подчинённые ему федеральные проекты, не раскрывает реальных комплексных мер по решению этой задачи.

В Постановлении Совета Министров Республики Беларусь от 30 ноября 2021 г. № 683 «О Концепции развития системы образования Республики Беларусь до 2030 года» говорится о том, что «современные глобальные экономические и социальные изменения ставят перед Республикой Беларусь новые задачи, среди которых повышение национальной конкурентоспособности, придание большей устойчивости государству в условиях экономических и социальных трансформаций» [1]. Дальнейшее содержание документа прямо и косвенно сопряжено со стратегической целью устойчивого развития Республики Беларусь, а именно с обеспечением высоких жизненных стандартов населения и условий для гармоничного развития личности на основе перехода к высокоэффективной экономике, базирующейся на знаниях и инновациях, при благоприятной окружающей среде для будущих поколений [35].

О необходимости создания доктрины образования в Союзном государстве для биосферной цивилизации

Решение кадровой проблемы более многогранно, чем установленные в указанных выше документах цели и задачи, поэтому и подход к ней должен быть комплексным, кибернетическим, с учётом обратной связи.

Так как Россия и Беларусь объединены экономически и культурно, то видится необходимость в создании доктрины с целью подготовки специалистов для биосферного развития, которое представляется как единственный способ, обеспечивающий переход Союзного государства к новой экономической модели, ставящей на первый план улучшение материального и духовного благосостояния людей. Данная доктрина должна быть разработана на основе кибернетического подхода с прямой/обратной связью от всех субъектов образовательного процесса и на принципах формирования особой социокультурной среды.

Кибернетический подход к доктрине образования в Союзном государстве

Главный инструмент в кибернетическом управлении системой образования, воспитания и подготовки кадров для улучшения благосостояния людей – кибернетическое планирование и научное (на базе математического моделирования) прогнозирование с учётом одновременной потребности Союзного государства в мастерстве и интеллекте.

Кибернетическое планирование в системе образования и подготовки кадров рассматривается как часть динамической модели межотраслевого-межсекторного баланса (Киберплан), которая является инструментом управления экономикой во благо людей [36]. Теория данного планирования прорабатывается секцией «Искусственный интеллект в экономике» Научного совета при Президиуме РАН по методологии искусственного интеллекта и когнитивных исследований под руководством профессора Е.Н. Ведуты совместно с членами общественной организации педагогов, учёных и родителей «Образование – наше будущее». Таким образом, кибернетическое планирование в системе образования – это модель, встроенная в Киберплан и являющаяся его неотъемлемой частью, которая находится в стадии научной разработки.

Основу рассматриваемого планирования составляют балансовые расчёты потребностей хозяйствующих субъектов в специалистах и возможностей государства (при условии, что образование считается общественным благом) по подготовке данных кадров в текущий период, а также с горизонтом скользящего планирования 5–10–30 лет.

На рисунке 3 представлена последовательность кибернетического планирования, в том числе с целью получения показателей, необходимых для реализации образовательной и кадровой политики государства.



Рисунок 3 – Шаги кибернетического планирования для реализации политики Союзного государства в сфере образования

Первый шаг кибернетического планирования – постановка стратегической цели социально-экономического развития страны. В нашем случае в таком качестве выступает постоянное улучшение благосостояния людей, т. е. обеспеченность населения необходимыми материальными и духовными благами [37]. Примером конкретизации этой цели для Союзного государства может служить создание биосферной цивилизации по модели А.Э. Юницкого, включающей в себя совершенствование всех сред воспроизводства человека: природы как основной среды обитания и воспроизводства жизненных сил; рабочего места как основной среды воспроизводства знаний и навыков через профессиональное мастерство; жилища и общественных пространств как основной среды воспроизводства социальных функций.

Второй шаг – определение приоритетных направлений развития Союзного государства. Исходя из концепции биосферной цивилизации А.Э. Юницкого, это геокосмическая программа uSpace для безракетного освоения ближнего космоса как места размещения промышленных предприятий, строительство линейных городов uCity, состоящих из пешеходных поселений кластерного типа, реликтовая солнечная биоэнергетика, биосферное сельское хозяйство [21].

Третий шаг – создание цифровых двойников продуктов и услуг. Для продуктов они формируются на этапе добычи сырья и далее по всей цепочке изготовления и поставок до конечного потребителя. Данные для цифровых двойников поступают в онлайн-режиме через систему маркировки продукции и услуг, счета-фактуры, штатное расписание и другие документы отчётности предприятия, достаточные для получения информации, необходимой при расчётах.

Четвёртый шаг – подключение сведений о цифровых двойниках в базу данных Киберплана.

Пятый шаг – проведение с помощью алгоритмов по динамической модели межотраслевого-межсекторного баланса итерационных балансовых расчётов «затраты – выпуск» для определения потребностей хозяйствующих субъектов в конечных продуктах и услугах и текущих возможностей производства, включая трудовые ресурсы, по их удовлетворению. База данных по потребностям появляется в Киберплане в режиме реального времени, отражая актуальный спрос на товары и услуги, уровень дохода населения, его покупательную способность. Цены на товары и услуги – цены равновесия, а не фиксированные плановые значения. Именно на этом этапе просчитываются количество и качество требуемых кадров по отраслям экономики, а также возможности образовательных учреждений по их подготовке. Вместе с тем Киберплан предполагает полную занятость, под которой подразумевается наличие достаточного количества рабочих мест для удовлетворения запросов всего трудоспособного населения государства, практическое отсутствие продолжительной безработицы, возможность предоставить желающим трудиться рабочие места, соответствующие их профессиональной ориентации, образованию, опыту.

Полученные по расчётам результаты являются основанием для корректировки текущей политики государства в области образования и подготовки кадров: ускорения подготовки определённых специалистов, усиления программы переобучения, переподготовки и дополнительного образования, повышения доступности высшего образования и науки для всё более широкого круга лиц в связи с автоматизацией производства и цифровизацией рутинных процессов.

Шестой шаг – планирование выпуска готовой продукции с горизонтом 5–10–30 лет для реализации поставленных целей и приоритетов развития государства. Здесь на первое место выходит моделирование социально-экономического развития в отличие от его прогнозирования и сочинения форсайт-проектов. На этом этапе разрабатывается стратегия образования на ближайшие 5–10–30 лет, определяются профессии будущего, система образования выстраивается под подготовку новых кадров. Именно на данной стадии возможно появление следующих направлений обучения: специалисты в области системной инженерии [38], солнечной биоэнергетики, а также биосферный агроном, инженер-строитель экопоселений, инженер струнного космического транспорта и ещё более сотни нужных и важных новых профессий.

Киберплан подвергается постоянным корректировкам и перерасчётам. Очевидно, что именно при таком планировании социально-экономического развития система образования будет отвечать требованиям времени, предоставлять глубокие фундаментальные знания, иметь междисциплинарный характер, давать детям с раннего возраста практические навыки, необходимые для их психофизиологического развития, а взрослым – возможность совершенствоваться в своей профессии, осваивать новые специальности и получать расширенные научные знания.

Социокультурный подход к доктрине образования в Союзном государстве

Доктрина не может быть ограничена только кибернетическим управлением системой образования. Для выстраивания полноценной стратегии прежде всего необходима философская, идейная составляющая, так как процесс обучения и воспитания, т. е. воспроизводства человека, направлен вглубь личности, на её совершенствование. Он должен неограниченно развивать потенциал каждого индивидуума, увеличивая не только его творческие возможности, но и всего социума в целом, обеспечивая при этом их гармоничное использование для достижения целей общества и государства [39]. Данный процесс проходит в социокультурной среде, описание которой – одна из главных задач доктрины.

Поскольку основной причиной кадрового кризиса является неверная мотивация людей (ориентация на индивидуализм, успех, эффективность, сверхпотребление), которая способствует расчеловечиванию, то для изменения положения вещей следует вернуть в нашу общественную жизнь высокие смыслы, истинные ценности и соответствующие им правила общежития. Речь идёт о формировании созидательной и высоконравственной социокультурной среды, в которой отечественная культура играет ключевую роль.

Культурная среда (культура) – многоуровневое ценностно-смысловое образование, включающее в себя субъектно-личностный уровень, обеспечивающий поведение индивидуума в его повседневной жизни; социальный уровень ценностей, определяющих общественную жизнь; трансцендентальный (высший) уровень ценностей (вечные, абсолютные ценности, объективные формы), являющих собой сферу смыслополагания [40]. Необходимо создать такую социокультурную среду, в которой люди воспитываются и консолидируются идеалами, глубоко укоренёнными и созвучными традиции, истории и культуре наших народов, где отечественная культура массово воспевает человека труда, творца, где люди строят свою Великую страну, опираясь на лучший отечественный и международный опыт. Информационное пространство Союзного государства следует нацелить на стимулирование коллективного созидательного труда, внедрение лучших практик, поддержку и пропаганду национальных норм и традиций. Социокультурная атмосфера должна быть сфокусирована на объединении людей, раскрытии их способностей, укреплении доверия к власти, ответственном отношении каждого, на соборности как единстве в многообразии.

Систему образования необходимо сориентировать на формирование духовно-нравственного, высокоинтеллектуального человека, стремящегося к самовоспитанию, труду и служению Отечеству, и направить её на работу с внутренним миром индивидуума, когда во главу угла ставится осознание им смысла жизни и обретение смысла дела, которым он занимается. Именно такая личность с нравственным стержнем и осознанно принятой ответственностью является и творцом, и патриотом, и инженером мира. Что касается обучения, то здесь основная задача – развитие нового мировоззрения учащихся, обусловленного целостной картиной мира, которая базируется на диалоге науки, оперирующей понятиями, и философии, религии, искусства, имеющих дело со смыслами.

Выбор методов, методик, подходов, инструментов, программ обучения должен зависеть от смысла, ценности и целей образования. Если Союзному государству необходимо осуществить научный и технологический прорыв, сохранив при этом суверенитет и традиционные духовно-нравственные ориентиры, улучшить благосостояние граждан, усовершенствовать их среду обитания, освоить космическое пространство, сохранив при этом человечность в людях, то эти цели и являются критериями отбора способов передачи знаний, умений, навыков, ценностей и смыслов от человека человеку.

Ожидаемые результаты разработки и внедрения доктрины образования в Союзном государстве

Как верно отмечает в своей книге «ИНЖЕНЕРиЯ. Мир как инженерный проект» А.Э. Юницкий, «образование – это то, к чему причастен каждый. Через образование формируется социально ориентированный человек. В любой момент времени. И поэтому все реформы здесь и сейчас должны начинаться с образования». «Задача системы образования – познакомить формирующееся сознание с основными идеями и принципами нравственно-этических вероучений» [41].

Следовательно, концептуальной базой новой доктрины является концентрация обучения и воспитания вокруг высших смыслов бытия, а также опора на фундаментальные научные знания. Ожидаемый результат образовательного процесса – воспроизводство человека-творца, который:

- способен ставить перед собой высокие цели, находить пути их достижения и достигать их;
- обладает эмпатией, нравственными навыками саморегулирования и самоограничения; отличается гуманным отношением к окружающему миру;
- умеет оперировать различными типами мышления – от образного до диалектического [32].

Реализация доктрины обеспечит следующие преимущества:

- существенное повышение уровня национальной безопасности через рост устойчивости социальной системы за счёт формирования гармонично развитого человека;

• положительные изменения социально-экономических показателей;

• массовое творчество, взлёт научной мысли, энтузиазм народа.

Доктрина может быть реализована только как масштабный проект, поскольку требует соответствующей настройки окружающей человека среды – социокультурной атмосферы, которая должна способствовать гармонизации уровня научно-технического прогресса и общественных отношений, правил жизни социума.

Ожидаемый результат от разработки и применения доктрины на изложенном выше концептуальном фундаменте – формирование основ планетарного мировоззрения [42] и существенное повышение качества жизни людей, которое является не только целью, но и условием прогресса. В отличие от параметров уровня жизни, меняющихся из века в век, параметры качества жизни остаются неизменными, и их фундаментальность подтверждают мировые религии, выбрав в качестве общечеловеческих заповедей «не убий», «не укради», «не прелюбодействуй», «не отчаивайся», «плодитесь и размножайтесь» и др. Для оценки качества жизни используются следующие статистические показатели, отражающие базовые человеческие ценности [43]:

1) физическое здоровье:

• рождаемость населения;

• смертность населения;

• продолжительность активной жизни;

• количество граждан, страдающих хроническими, тяжёлыми неинфекционными заболеваниями;

• количество граждан, ведущих здоровый образ жизни;

2) социальное здоровье:

• доля долголетних браков (показывает крепость семейных уз);

• количество браков, заключаемых людьми до 30 лет (показывает социальный оптимизм молодёжи);

• количество граждан с высшим образованием (показывает интеллектуальное развитие людей);

• трудовая занятость населения (показывает профессиональную востребованность);

• количество социальных сирот (показывает заботу о потомстве);

• количество усыновлений (показывает нравственную зрелость);

• количество жалоб на нарушение конституционных прав (показывает соблюдение свободы и прав человека);

• соотношение доходов богатых и бедных семей (показывает социальную поляризацию);

3) духовное здоровье:

• количество самоубийств (показывает наличие смысла и ценности жизни);

• количество преступлений против жизни и здоровья людей (показывает уровень человечности);

• количество преступлений против собственности (показывает справедливость распределения материальных благ);

• количество открытий и изобретений (показывает уровень развития науки и качество образования);

• количество новых произведений искусства (показывает уровень культуры).

Описанный подход к доктрине приводит к построению созидательно-счастливого общества. Эту мысль ёмко сформулировал А.Э. Юницкий: «Высшая индивидуальная цель – это индивидуальное счастье. Высшая общая цель – общее счастье. Такая цель может быть лишь обезличенной, а следовательно, она достижима лишь на пути инженерии без каких-либо претендующих на особые лавры и проценты от прибыли жрецов, в данном случае – властных «элит» [41].

Заключение

Исторический процесс рассматривается А.Э. Юницким как общественное развитие, которое обусловлено созидательным творчеством. Сложно не согласиться с автором книги «ИНЖЕНЕРиЯ. Мир как инженерный проект», что «каждое значимое изменение (общественных отношений. – *Примеч. авт.*) обеспечивается теми или иными технологиями, созданными инженерами» [41]. В настоящее время инженеры подготовили площадку для прорыва к эффективным и нравственным социальным отношениям, обусловив небывалое развитие производительных сил. Дело за малым – за преобразованием общества через осознанный отказ от культуры эгоистического потребления и частнособственнических целей и переход к культуре созидательного сотворчества и общих планетарных целей посредством образования и социокультурной среды и с использованием кибернетического подхода к управлению сложными системами, одной из которых является социально-экономическое развитие. Поскольку современный антропологический кризис связан не с ускоренным совершенствованием технологий, а с отставанием социокультурного прогресса, то перспективы цивилизации зависят от того, успеют ли люди преодолеть это отставание. Разрешение кризиса потребует революционного изменения социальной и культурной сфер и подходов к управлению экономикой.

Предложенные основы доктрины способствуют согласованности коллективного разума и возросших благодаря ускорению научно-технического прогресса возможностей человека влиять на природную среду. Через изменение менталитета нынешнего поколения граждан Союзного государства можно привести население планеты Земля к гармоничному развитию, к ноосфере Вернадского – качественно новой форме организованности, возникающей при взаимодействии природы и общества и преобразующей мир творческой деятельности человека, которая опирается на научную мысль и его разум.

Список основных источников

1. *О Концепции развития системы образования Республики Беларусь до 2030 года [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 30 нояб. 2021 г., № 683. – Режим доступа: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100683. – Дата доступа: 03.06.2024.*
2. *Бессонов, Б.Н. Гуманистические измерения становления личности в истории философии / Б.Н. Бессонов // Гуманизм и пути развития российского образования: коллектив. моногр. – М.: Издат. дом «Русская философия», 2023. – С. 11–21.*
3. *Ахапкин, Н.Ю. Российская экономика в условиях санкционных ограничений: динамика и структурные изменения / Н.Ю. Ахапкин // Вестник Института экономики Российской академии наук. – 2023. – № 6. – С. 7–25.*
4. *Обеспеченность предприятий работниками [Электронный ресурс] // Мониторинг предприятий. – 2024. – № 7 (26). – Режим доступа: https://www.cbr.ru/collection/collection/file/49342/0724.pdf. – Дата доступа: 20.07.2024.*
5. *Лола, И.С. Динамика занятости в базовых отраслях экономики России: реализуемость кадровых планов и ожидаемый фокус перемен на рынке труда в III квартале 2023 г. / И.С. Лола, В.В. Сёмина. – М.: НИУ ВШЭ, 2023. – 13 с.*
6. *На фоне нехватки специалистов принята государственная кадровая политика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://neg.by/novosti/otkrytj/na-fone-nekhvatki-spetsialistov-prinyata-gosudarstvennaya-kadrovaya-politika/. – Дата доступа: 30.05.2024.*
7. *Лукашенко заявил о дефиците кадров в белорусской промышленности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://tass.ru/ekonomika/20489233. – Дата доступа: 30.05.2024.*
8. *Тараторин, Д. Белоруссия столкнулась с кадровым дефицитом [Электронный ресурс] / Д. Тараторин. – Режим доступа: https://www.ng.ru/cis/2023-09-11/1_8823_belorussia.html. – Дата доступа: 31.05.2024.*
9. *Динамика численности рабочей силы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/ssrd-mvf_2/natsionalnaya-stranitsa-svodnyh-dannyh/zanyatost-i-bezrabotitsa/. – Дата доступа: 28.07.2024.*
10. *Мишустин назвал дефицит специалистов вызовом для российской экономики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://tass.ru/ekonomika/18561881. – Дата доступа: 31.05.2024.*
11. *О внесении изменений в Концепцию государственной миграционной политики Российской Федерации на 2019–2025 годы, утверждённую Указом Президента Российской Федерации от 31 октября 2018 г. N° 622 [Электронный ресурс]: Указ Президента Рос. Федерации, 12 мая 2023 г., N° 342. – Режим доступа: http://www.kremlin.ru/acts/bank/49202. – Дата доступа: 31.05.2024.*
12. *Путин назвал важным «обеспечение кадрового суверенитета страны» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://tass.ru/ekonomika/18561111. – Дата доступа: 31.05.2024.*
13. *Кособокова, Е. Путин: Россия должна стать самодостаточной, в этом проявление суверенитета [Электронный ресурс] / Е. Кособокова. – Режим доступа: https://www.kp.ru/online/news/5656890/. – Дата доступа: 04.06.2024.*
14. *Дефицит рабочих и престиж инженерных профессий. Лукашенко очертил круг задач по кадрам в промышленности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.belta.by/president/view/defitsit-rabochih-i-prestizh-inzhenernyh-professij-lukashenko-ochertil-krug-zadach-po-kadram-v-626720-2024/. – Дата доступа: 04.06.2024.*
15. *Владимир Путин объявил о запуске нового национального проекта «Кадры» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://edu.gov.ru/press/8175/vladimir-putin-obyavil-o-zapuske-novogo-nacionalnogo-proekta-kadry/. – Дата доступа: 04.06.2024.*
16. *Проектное управление трудом [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.kommersant.ru/doc/6790037. – Дата доступа: 05.06.2024.*
17. *О Концепции государственной кадровой политики Республики Беларусь [Электронный ресурс]: Указ Президента Респ. Беларусь, 3 янв. 2024 г., N° 1. – Режим доступа: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=P32400001. – Дата доступа: 05.06.2024.*

18. *ГКНТ: Беларусь и Россия развивают стратегическое сотрудничество в сфере космоса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.belta.by/tech/view/gknt-belarus-i-rossija-razvivajut-strategicheskoe-sotrudnichestvo-v-sfere-kosmosa-531261-2022/. – Дата доступа: 05.06.2024.*
19. *История сотрудничества РФ и Белоруссии в космической сфере [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://tass.ru/info/20510959. – Дата доступа: 05.06.2024.*
20. *Тузиков, А. Совместное развитие космических технологий Беларуси и России / А. Тузиков, С. Кореняко // Наука и инновации. – 2013. – № 5 (123). – С. 7–10.*
21. *Юницкий, А.Э. Программа перезагрузки экономики Союзного государства России и Беларуси на биосферный путь цивилизационного развития / А.Э. Юницкий. – Минск, 2022. – 208 с.*
22. *В России спрос на специалистов по космическим аппаратам вырос в пять раз [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://tass.ru/obschestvo/17502497. – Дата доступа: 09.06.2024.*
23. *Зарплаты не космос: Путин удивлён низкими доходами сотрудников отрасли [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.bfm.ru/news/536783. – Дата доступа: 09.06.2024.*
24. *Единак, Е.А. Влияние межотраслевых экономических факторов на занятость и оплату труда / Е.А. Единак // Социально-трудовые исследования. – 2021. – № 3 (44). – С. 73–83.*
25. *Довгучиц, С.И. Приоритетные направления государственной политики в области ракетно-космической отрасли / С.И. Довгучиц, П.А. Кохно // Научный вестник ОПК России. – 2017. – № 3. – С. 3–12.*
26. *Мотивационное ценообразование / М.Ю. Иванова [и др.] // Экономика космоса. – 2020. – № 1 (1). – С. 3–7.*
27. *Александрова, О.А. Проблема дефицита кадров в промышленном секторе экономики: причины и направления решения / О.А. Александрова // Уровень жизни населения регионов России. – 2024. – Т. 20, № 2. – С. 150–162.*
28. *Соболев, Л.Б. Проблемы инженерного образования в России / Л.Б. Соболев // Экономический анализ: теория и практика. – 2018. – Т. 17, № 7 (478). – С. 1252–1267.*
29. *Галкина, Ю.В. Кадры космической отрасли: проблемы и реальность / Ю.В. Галкина, А.В. Кукарцев // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2014. – Т. 2, № 10. – С. 111–112.*
30. *Подвойский, Г.Л. Дефицит работников в новых условиях развития национальной экономики / Г.Л. Подвойский, В.А. Прокудин // Социально-трудовые исследования. – 2024. – № 2 (55). – С. 41–53.*
31. *Лугуценко, Т.В. Динамика развития современного духовного кризиса в условиях трансформирующегося общества / Т.В. Лугуценко, О.М. Шевченко // Гуманитарий Юга России. – 2024. – Т. 13, № 2 (66). – С. 26–35.*
32. *Бирич, И.А. Необходимость новой антропологической модели для новой образовательной парадигмы / И.А. Бирич, И.К. Джерелиевская // Гуманизм и пути развития российского образования: коллектив. моногр. – М.: Издат. дом «Русская философия», 2023. – С. 56–80.*
33. *Опубликован паспорт национального проекта «Образование» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://government.ru/info/35566/. – Дата доступа: 17.06.2024.*
34. *Об утверждении Основ государственной политики по сохранению и укреплению традиционных российских духовно-нравственных ценностей [Электронный ресурс]: Указ Президента Рос. Федерации, 9 нояб. 2022 г., № 809. – Режим доступа: http://www.kremlin.ru/acts/bank/48502. – Дата доступа: 17.06.2024.*
35. *Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://economy.gov.by/uploads/files/NSUR2030/Natsionalnaja-strategija-ustojchivogo-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitija-Respubliki-Belarus-na-period-do-2030-goda.pdf. – Дата доступа: 17.06.2024.*
36. *Ведута, Е.Н. Межотраслевой-межсекторный баланс: механизм стратегического планирования экономики / Е.Н. Ведута. – М.: Академ. проект, 2016. – 240 с.*
37. *Глобальная экономика. Энциклопедия / под. ред. И.М. Куликова. – М.: Финансы и статистика, 2011. – 920 с.*
38. *Юницкий, А.Э. Системная инженерия в образовательной и транспортной отраслях / А.Э. Юницкий, А.Ю. Каханович // Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию БелИИЖТа – БелГУТа, Гомель, 16–17 нояб. 2023 г.: в 2 ч. – Гомель: БелГУТ, 2023. – Ч. 2. – С. 223–225.*
39. *Курбатов, А.В. Ценностно-смысловая система образования – наша главная прорывная технология [Электронный ресурс] / А.В. Курбатов. – Режим доступа: https://regnum.ru/article/2842053. – Дата доступа: 18.07.2024.*
40. *Джерелиевская, И.К. Культурная укоренённость России как основа её развития [Электронный ресурс] / И.К. Джерелиевская // Формирование целостной отечественной гуманитарной науки на системных основаниях: материалы междунар. науч. конф., Москва, 25 февр. 2020 г. / ОД «За возрождение отечественной науки» [и др.]. – Режим доступа: https://www.za-nauku.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=12252&Itemid=43. – Дата доступа: 18.06.2024.*
41. *Юницкий, А.Э. Инженерия. Мир как инженерный проект / Анатолий Юницкий. – Минск: СтройМедиаПроект, 2023. – 320 с.*
42. *Бирич, И.А. Синергетические задачи образования / И.А. Бирич // Философские науки. – 2010. – № S1. – С. 39–53.*
43. *Гундаров, И.А. Динамика качества жизни и модернизация государственного управления [Электронный ресурс] / И.А. Гундаров // Мир науки. – 2013. – № 3. – Режим доступа: https://mir-nauki.com/PDF/03MN413.pdf. – Дата доступа: 18.06.2024.*



УДК 332.13+629.7

Влияние индустриализации ближнего космоса на социально-экономическое развитие экваториальных стран Южной Америки

А.Э. Юницкий[1, 2]
доктор философии транспорта

Е.Н. Власовец[2]

О.В. Кулик[2]

А.С. Шанчук[2]

[1] ООО «Астроинженерные технологии»,
г. Минск, Беларусь

[2] ЗАО «Струнные технологии»,
г. Минск, Беларусь

Установлена необходимость формирования принципиально новых подходов к освоению околоземного пространства, которая диктуется стремительным изменением в области космических технологий, возрастающей важностью защиты окружающей среды и ростом глобальных вызовов перед человечеством.

Рассмотрена актуальность реализации программы uSpace для мирового сообщества. Представлен анализ текущего экономического состояния экваториальных стран Южной Америки (Бразилия, Колумбия, Эквадор), на территории которых планируется расположить взлётно-посадочный и транспортно-инфраструктурный комплекс геокосмического летательного аппарата – общепланетарного транспортного средства. Определены и классифицированы глобальные и локальные эффекты от осуществления программы индустриализации ближнего космоса для человеческой цивилизации в целом и рассмотренных государств в частности. Отмечена возможность получения социально-экономических выгод от её воплощения.

Ключевые слова:
глобальный эффект, индустриализация ближнего космоса, космическая индустрия, локальный эффект, общепланетарное транспортное средство (ОТС).

UDC 332.13+629.7

Impact of Near Space Industrialization on Socioeconomic Development of Equatorial South American Countries

A. Unitsky[1, 2]
Dr. of Philosophy
in Information Technologies
(Transport)

K. Vlasavets[2]

O. Kulik[2]

A. Shanchuk[2]

[1] Astroengineering Technologies LLC,
Minsk, Belarus

[2] Unitsky String Technologies Inc.,
Minsk, Belarus

The necessity for developing fundamentally new approaches to the exploration of near-Earth space has been established, driven by rapid advancements in space technology, the increasing importance of environmental protection and the growing global challenges facing humanity.

The relevance of implementing the uSpace program for the world community is discussed. An analysis of the current economic conditions in equatorial South American countries (Brazil, Colombia, Ecuador), where it is planned to locate a takeoff and landing, transport and infrastructure complex for a geocosmic spacecraft – a General Planetary Vehicle, is presented. Global and local effects of the near space industrialization program on human civilization as a whole and on the specified nations in particular are identified and classified. The potential for socioeconomic benefits from its realization is noted.

Keywords:
General Planetary Vehicle (GPV), global effect, local effect, near space industrialization, space industry.

Введение

Освоение околоземного пространства является одной из приоритетных задач человечества, которая во многом определяет будущее нашей цивилизации. Инвестиции в космические технологии и исследования приносят большую прибыль, находя практическое применение в реальных секторах экономики.

Впервые интерес международного сообщества к данной проблематике нашёл своё отражение в резолюции Генеральной Ассамблеи ООН 1958 г. «Вопрос об использовании космического пространства в мирных целях» [1]. Стимулом такого возросшего внимания послужил запуск в 1957 г. Советским Союзом первого искусственного спутника Земли. С тех пор ООН занимается координацией политико-правовых и научно-технических аспектов в области изучения космоса, подчёркивая важность его освоения на благо человечества.

Сегодня приоритеты космической деятельности постепенно смещаются от общенаучных исследований к практическому применению и коммерциализации результатов изучения околоземного пространства. Этот процесс неосуществим без инновационного подхода, модернизации базовых отраслей и секторов экономики, развития фундаментальных и прикладных наук, образования. Космическая отрасль открывает новые возможности для энергетики, метеорологии, телекоммуникаций, транспорта, авиации, мореплавания и других сфер экономики.

Согласно данным американской аналитической компании BryceTech стоимость мировой космической экономики в настоящее время оценивается примерно в 400 млрд USD [2]. По предварительным прогнозам, к 2026 г. она будет составлять более 500 млрд USD, а к 2030 г. достигнет 1 трлн USD и продолжит расти (рисунок 1).

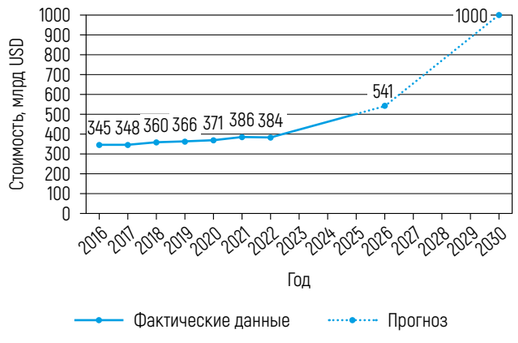


Рисунок 1 – Динамика и прогноз развития глобальной космической экономики в 2016–2030 гг.

Развитие космической индустрии и достигнутые в этой области результаты также способствуют космической экспансии, открывая перспективы для освоения новых ресурсов: пространственных, энергетических, сырьевых и технологических (невесомость, глубокий вакуум и др.). Исследования в этой сфере расширяют научные знания, помогают устанавливать международные контакты и укреплять позиции государств на мировой арене.

Одно из направлений глобальной космической экспансии – индустриализация околоземного пространства, позволяющая создать новую космическую экономику. Однако сложившаяся традиционная форма освоения космоса наносит колоссальный вред планете и не даёт возможности рационально использовать имеющиеся ресурсы. Ввиду своей дороговизны, а также традиционализма государственных ведомств рассматриваемая отрасль и перспективные направления её развития не смогли стать широкодоступными, являются малоэффективными и слабо интегрированы в земную промышленность и экономическую среду [3].

В связи с этим назревает необходимость формирования инновационных программ, способных вывести практическую космонавтику на принципиально другой уровень. Одна из рациональных концепций создания космической индустрии – программа uSpace, разработанная учёным-исследователем А.Э. Юницким, которая предлагает вынести экологически опасную часть земной промышленности в околоземное пространство с целью обеспечения устойчивого развития человечества и сохранения естественного биосферного баланса на планете [4].

Анализ экваториальных стран Южной Америки как участниц геокосмической программы uSpace

Задачей первого этапа реализации рассматриваемого проекта является строительство взлётно-посадочной эстакады общепланетарного транспортного средства (ОТС) общей протяжённостью более 40 000 км, размещённой по экватору Земли или параллельно ему (на расстоянии до 100 км) и проходящей по территории 13 стран Африки, Южной Америки и Азии. Создание ОТС потребует привлечения мировых инвестиций в размере около 2 трлн USD, определённой политической воли, а также использования значительных трудовых, природных материальных и энергетических ресурсов государств, на территории которых будет располагаться взлётно-посадочная эстакада [5].

Обладая достаточным технологическим, экономическим и ресурсным потенциалом (таблица), экваториальные страны Южной Америки – Бразилия, Колумбия, Эквадор – могут стать стартовой площадкой для развития и укрепления международных связей в рамках проекта.

Таблица – Основные статистические и экономические показатели экваториальных стран Южной Америки [6]

Показатель	Значение по странам		
	Бразилия	Колумбия	Эквадор
Население, млн человек (2024 г.)	217	52,2	18,3
ВВП на душу населения, USD (2022 г.)	8918	6624	6391
ВВП, млрд USD (2022 г.)	1920,1	343,6	115
Индекс лёгкости ведения бизнеса	124	67	129

Бразилия, Колумбия и Эквадор активно развивают космическую отрасль, используя науку и технологии для устойчивого социально-экономического роста и обеспечения национальной безопасности. Бразилия является участником космических программ и миссий, осуществляет запуск спутников, разработку технологий и др. Среди её организаций – Бразильское космическое агентство (AEB), Национальный институт космических исследований (INPE), космодром Алкантара и др. В Колумбии функционируют Колумбийское космическое агентство (AEC), Колумбийский институт аэронавтики и космоса, астрономическая обсерватория на базе университета Sergio Arboleda и др. Эквадор только начинает свой путь в данной сфере, но уже предпринимает шаги для участия в космических программах и изысканиях, демонстрируя интерес и стремление к становлению в этой области.

Поскольку запуск ОТС связан с большими затратами энергии (первоначальный запас энергии, необходимый для подъёма ОТС, составляет $4{,}2 \times 10^{11}$ кВт·ч), то в рамках проекта требуется наличие не только собственных электростанций, но и обеспечение возможности получения энергии из сети стран экваториального пояса планеты [7]. Бразилия обладает огромным энергетическим потенциалом и является одним из крупнейших производителей электроэнергии в мире (в 2023 г. сгенерировано $7{,}1 \times 10^{11}$ кВт·ч) [8]. Энергетическая отрасль Колумбии демонстрирует значительный рост, увеличив свою мощность вдвое за последние 20 лет. Правительство Эквадора принимает меры по стабилизации ситуации в энергетическом секторе, замещая нефтяные электростанции гидроэлектростанциями.

Экваториальные страны Южной Америки, несмотря на различия в уровне социально-экономического развития, совместно способны внести огромный вклад в реализацию проекта uSpace, обладая необходимым потенциалом для производства капиталоёмкой и наукоёмкой продукции в нефтегазовой, горнодобывающей, телекоммуникационной, металлургической и авиакосмической отраслях.

Направления получения социально-экономических выгод от реализации геокосмической программы uSpace

Поскольку реализация программы uSpace представляет собой долгосрочный процесс, состоящий из нескольких этапов и влияющий как на мировое сообщество в целом, так и на отдельные страны, то и эффект от осуществления проекта можно условно разделить на глобальный и локальный (рисунок 2).

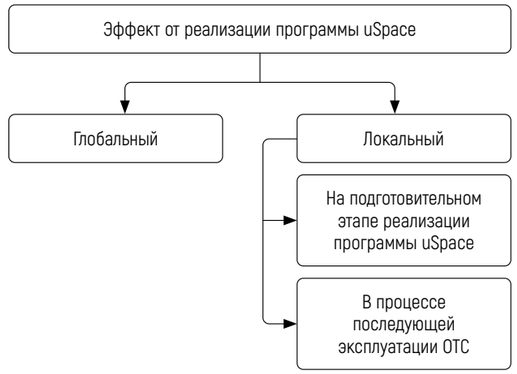


Рисунок 2 – Виды эффекта от реализации геокосмической программы uSpace

Глобальный эффект

Положительный для всего человечества результат ожидается получить на этапе практической индустриализации космоса. В то же время государства, на территории которых будет размещена стартовая эстакада (в том числе экваториальные страны Южной Америки), ощутят выгоды и на подготовительном этапе проекта, и в процессе последующей эксплуатации ОТС.

Глобальный эффект от реализации геокосмической программы uSpace основан на создании принципиально новых направлений экономической деятельности.

1. Функционирование ОТС – высокопроизводительного и экологичного транспорта для осуществления геокосмических перевозок пассажиров и грузов (до 10 млн тонн грузов и 10 млн пассажиров за один рейс). Эффект от использования ОТС главным образом заключается в значительном сокращении затрат на транспортировку по сравнению с традиционными ракетами-носителями. Экономия на доставке тонны груза на экваториальные орбиты составит около 10 млн USD.

2. Создание и развитие в околоземном пространстве предприятий базисных отраслей производства: энергетики, машиностроения, металлургии, химико-фармацевтической промышленности и др. Экономическая эффективность и качественные конкурентные преимущества космической индустрии обусловлены легкодоступным и неисчерпаемым характером ресурсов космоса и физическими особенностями его технологической среды.

3. Добыча космических полезных ископаемых. Значительная концентрация в астероидах ценных ресурсов (железо, никель, магний, кобальт, титан, драгоценные и редкоземельные металлы и др.) открывает мировому сообществу доступ к ресурсам главного пояса астероидов, оцениваемым в 700 квинтлн USD (в недрах среднего астероида диаметром 1,5 км находятся металлы на сумму около 40 трлн USD – согласно индексу инфляции) [9]. Экономическая эффективность получения астероидных полезных ископаемых обусловлена снижением затрат, связанных с добычей, транспортировкой и обогащением рудного сырья. Кроме того, будут исключены расходы на очистку и утилизацию вредных выбросов, на возврат пустой породы в карьер и его рекультивацию, что по экологическим нормам требуется осуществлять на планете Земля, но нет необходимости в условиях космоса.

4. Использование ОТС в качестве гигантской линейной кинетической электростанции. Высокая экономическая эффективность выработанной в околоземном пространстве солнечной электроэнергии определяется большой удельной мощностью круглосуточно доступного солнечного потока в космосе и отсутствием затрат на топливо, достигающих 50–70 % себестоимости электроэнергии, производимой традиционными земными электростанциями.

5. Строительство и эксплуатация международной сети транспортных, энергетических и информационных коммуникаций uNet и её наземного транспортно-инфраструктурного комплекса протяжённостью около 25 млн км для обеспечения межконтинентальных (в том числе через моря и океаны), континентальных, региональных и городских грузопассажирских перевозок беспилотными рельсовыми электромобилями на стальных колёсах (юнимобилями) [10]. Экономия на строительстве таких трасс по сравнению с другими видами эстакадных дорог составит более 100 трлн USD.

6. Возведение вдоль эстакады ОТС экваториального линейного города (ЭЛГ) – поселений кластерного типа, характеризующихся высокой эффективностью городского хозяйствования, достойным уровнем жизни и комфортными условиями труда. ЭЛГ представляет собой застройку жилых, административных и индустриальных кластеров, использующих экоориентированные технологии: снабжение «зелёной» электроэнергией и теплом, натуральными продуктами питания, а также формирование высокой транспортно-коммуникационной доступности. Новая урбанистическая концепция способна обеспечить жильём более 100 млн человек [10].

Глобальный эффект от реализации программы индустриализации околоземного пространства будет разделён между всеми странами мирового сообщества, включая экваториальные государства Южной Америки, в зависимости от их вклада в развитие космической инфраструктуры и участия в проекте в рамках международного сотрудничества.

Локальный эффект

Положительный локальный результат связан с непосредственным территориальным вовлечением экваториальных стран Южной Америки в подготовительный этап организационного плана осуществления программы uSpace, а также с процессом последующей эксплуатации ОТС и выполнением геокосмических полётов.

Локальный эффект на подготовительном этапе реализации программы:

1) создание крупных научно-исследовательских центров, некоммерческих организаций, межведомственных учреждений на базе уже существующих космических агентств в странах Южной Америки и Карибского бассейна;

2) загрузка и рост мощностей отраслей промышленности экваториальной Южной Америки, задействованных в процессе изготовления ОТС и строительства взлётно-посадочной эстакады: металлообрабатывающей, машиностроительной, строительной, радиоэлектронной, энергетической, аэрокосмической и др. Только возведение более 3000 км эстакады ОТС на территории Бразилии, Колумбии и Эквадора позволит расширить производственные мощности ведущих отраслей промышленности на сумму свыше 50 млрд USD (около 8 млн тонн металлоконструкций и 1 млн м^3 железобетона);

3) возведение принципиально новых объектов промышленного сектора, которые станут частью космической индустрии (кластеры по сборке, обслуживанию и ремонту узлов ОТС);

4) строительство транспортно-логистических центров и высокопроизводительной транспортной сети для выполнения операций, связанных с перемещением, хранением, распределением продуктов космической индустрии по территории Северной и Южной Америки;

5) создание топливно-энергетического комплекса с акцентом на инновационные источники энергии (например, реликтовая солнечная биоэнергетика), способные обеспечить энергией все компоненты геокосмического комплекса, а также процессы взлёта и посадки ОТС;

6) строительство ЭЛГ, имеющего высокие показатели эффективности городского хозяйствования, достойный уровень жизни и комфортные условия труда для не менее чем 50 млн человек;

7) снижение уровня безработицы благодаря созданию миллионов новых рабочих мест в промышленной индустрии, повышению занятости населения путём обучения и переподготовки кадров, устранению факторов, снижающих профессиональную и географическую мобильность рабочей силы, посредством формирования развитого рынка жилья;

8) улучшение качества жизни людей за счёт эффективной занятости (максимальное вовлечение трудоспособного населения в экономику, оптимальное использование трудового потенциала), устойчивого роста доходов и совершенствования социальной среды;

9) инвестиционное развитие экономики путём привлечения дополнительных средств в проекты, направленные на создание инновационных и высокотехнологичных производств, научных институтов, образовательных учреждений и объектов социальной, экологической и институциональной инфраструктуры;

10) укрепление и рост человеческого капитала посредством вложений в образование, здравоохранение и науку;

11) увеличение доходной части бюджетов Бразилии, Колумбии и Эквадора за счёт расширения круга налогоплательщиков (инновационные и высокотехнологичные производства, образовательные и научные учреждения, научно-технологические парки и др.);

12) стимулирование промышленной кооперации, способствующей увеличению результативности труда, технологической модернизации и освоению капиталоёмкой продукции; развитие экваториальных стран Южной Америки в качестве международных платформ для реализации высокотехнологичных, инновационных проектов с огромным экспортным потенциалом.

Локальный эффект от эксплуатации ОТС на этапе базисной и широкомасштабной индустриализации околоземного пространства связан с необходимостью обеспечения стабильного функционирования геокосмической отрасли, нуждающейся в непрерывном технологическом развитии в производственной и инфраструктурной сферах.

Постоянное усложнение технологических процессов, интенсификация информационных потоков и организация новых секторов экономики в процессе индустриализации ближнего космоса требуют повышения образовательного уровня и культурного развития человека, общества и бизнеса. Эксплуатация ОТС и обслуживание космических перевозок приведут к созданию большого количества высокооплачиваемых рабочих мест для квалифицированного персонала, что станет фундаментом для формирования растущего благосостояния, социальной интеграции и сплочённости.

Заключение

Реализация программы uSpace на территории экваториальных стран Южной Америки (Бразилия, Колумбия, Эквадор) обеспечит получение глобального и локального эффекта и придаст импульс международному экономическому и социальному сотрудничеству. Проект на всех этапах его воплощения будет содействовать устойчивому развитию и экономической безопасности стран, повышая благосостояние и качество жизни населения благодаря синергии и масштабности, а также укрепляя конкурентоспособность национальных экономик и их позиции в мировой хозяйственной системе.

Список основных источников

1. *Резолюции 13-й сессии (1958 год) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.un.org/ru/ga/13/docs/13res.shtml. – Дата доступа: 14.06.2024.*
2. *Reports [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.brycetech.com/reports. – Дата доступа: 14.06.2024.*
3. *Пермяков, Р.В. «Новый космос»: глобальный ландшафт и модели коммерциализации / Р.В. Пермяков // Экономика космоса. – 2023. – Т. 2, N° 6. – С. 12–28.*

4. *Юницкий, А.Э. Программа SpaceWay – единственно возможный сценарий спасения земной технократической цивилизации от угасания и гибели / А.Э. Юницкий // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 31–39.*
5. *Юницкий, А.Э. Технико-экономическое обоснование инвестиционного проекта «Безракетная индустриализация ближнего космоса» как инструмента спасения биосферы Земли / А.Э. Юницкий, А.В. Бабаян // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 12 сент. 2020 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – С. 116–137.*
6. *Мировой атлас данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://knoema.ru/atlas. – Дата доступа: 18.06.2024.*
7. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.*
8. *Electricity Production [Electronic resource]. – Mode of access: https://energystats.enerdata.net/electricity/world-electricity-production-statistics.html. – Date of access: 18.06.2024.*
9. *Производство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://aet.space/production. – Дата доступа: 17.06.2024.*
10. *Юницкий, А.Э. Программа «ЭкоМир» / А.Э. Юницкий. – Минск, 2024. – 64 с.*



УДК 504.05+629.7

Глобальные проблемы человечества: состояние и пути их решения

А.Э. Юницкий[1,2]
доктор философии транспорта

В.К. Леонова[2]

[1] ООО «Астроинженерные технологии», г. Минск, Беларусь

[2] ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Беларусь

Путь земной цивилизации от древности до современного общества с его колоссальным количеством открытий и изобретений повлёк за собой не только развитие науки, технологий и техники, но и реальную опасность гибели всего живого на нашей планете. Всеобщий рост материальных потребностей человека, обусловленный выбранным вектором движения нашего социума, привёл к экологическому кризису, истощению необходимых природных ресурсов, продовольственным и ряду других вопросов, которые неразрывно связаны друг с другом.

В статье рассмотрены глобальные проблемы нашей цивилизации, динамика их нарастания и методы решения, предлагаемые международным сообществом. Обоснована важность переоценки пути развития человечества для перехода на новый качественный уровень существования. Показаны альтернативные способы преодоления экологических угроз.

Ключевые слова:
бедность, глобальные проблемы, голод, окружающая среда, пределы роста, экологические проблемы.

UDC 504.05+629.7

Global Problems of Humanity: Current State and Solutions

A. Unitsky[1,2]
Dr. of Philosophy in Information Technologies (Transport)

V. Leonova[2]

[1] Astroengineering Technologies LLC, Minsk, Belarus

[2] Unitsky String Technologies Inc., Minsk, Belarus

The path of Earth's civilization from antiquity to modern society, with its vast array of discoveries and inventions, has not only fostered the development of science, technology and engineering but has also posed a real threat to the survival of all living things on our planet.
The overall increase in human material needs, driven by the chosen trajectory of our society, has led to an ecological crisis, the depletion of essential natural resources, food shortages and a range of other interrelated issues that are inextricably linked.

This article examines the global problems facing our civilization, the dynamics of their escalation and the methods proposed by the international community for their resolution. It underscores the importance of re-evaluating humanity's developmental path to transition to a new qualitative level of existence. Alternative approaches to overcoming ecological threats are shown.

Keywords:
ecological problems, environment, global issues, growth limits, hunger, poverty.

Введение

На протяжении своей истории человечество прошло огромный путь от производства изделий труда из камня до изобретения роботов, самолётов и искусственных спутников Земли. Всё это время люди стремились повысить уровень жизни, ускорить технологический и научный прогресс. Однако по мере усложнения цивилизации они стремительно стали погружаться в глубокий кризис, угрожающий их существованию.

Несмотря на все достижения в науке и технике, совершенствование технологий и доступность знаний, количество глобальных проблем человечества не становится меньше. С одной стороны, нерациональная деятельность людей, наращивание потребления, экономические процессы приводят к улучшению качества жизни, с другой – часто являются причиной нанесения колоссального ущерба окружающей среде. Рост экологических проблем, в свою очередь, ведёт к обострению социальных вопросов и ограничивает возможность дальнейшего развития.

В разные времена интерес к таким процессам выражали многие известные учёные, такие как Д.Х. Медоуз и Д.Л. Медоуз, М. Стронг, Р. Ленуар, Э. Пестель, М. Ренер, В.Н. Сукачёв, В.И. Вернадский, М.И. Будыко, К.Г. Гофман и др.

На сегодняшний день на мировом уровне существует и разрабатывается множество программ, в том числе при активном содействии ООН, направленных на решение экономических, социальных и экологических проблем. Тем не менее, несмотря на повышенный интерес к данным вопросам, их исследование нельзя считать завершённым, а меры, принимаемые международными, а также национальными и локальными неправительственными организациями, не остановили деградационные процессы.

Альтернативой имеющимся решениям является единая стройная концепция, предложенная инженером, конструктором и изобретателем А.Э. Юницким, – программа «ЭкоМир», которая поможет человечеству не только жить на Земле в комфортных для себя условиях, но и устранить ущерб, который уже нанесён биосфере нашей планеты – общего дома для миллиардов видов живых организмов, имеющих миллиардолетнюю историю эволюции.

Цель настоящей статьи – изучение и систематизация деструктивных изменений, которые происходят в мире в результате деятельности людей, анализ попыток урегулирования глобальных экологических проблем в историческом ключе и их состояния на сегодняшний день, а также подтверждение эффективности реализации программы «ЭкоМир», содержащей экономически выгодные и обоснованные инженерно-технические решения, призванные устранить вредное антропогенное воздействие на земную биосферу со стороны техносферы.

История изучения экологической проблематики в мировом сообществе. Цели устойчивого развития ООН

Ещё в VI–IV вв. до н. э. античные мыслители задумывались о влиянии человека на окружающий мир. По-настоящему заинтересовались данным вопросом только во второй половине XX в. Причиной этого стало как накопление знаний об окружающем мире, так и осознание ущерба от промышленной революции и несоблюдения требований по безопасной утилизации отходов производства, а также от бесконтрольного использования природных ресурсов. В то же время начали формироваться новые отрасли науки и исследований экологической направленности.

В 1972 г. группой экспертов Массачусетского технологического института под руководством специалиста в области системной динамики Д.Л. Медоуза был подготовлен первый доклад Римскому клубу[1] «Пределы роста» (The Limits to Growth). В основу документа авторы положили компьютерную модель, созданную на базе пяти тенденций мирового развития: роста населения, промышленности, производства продовольствия, нерационального использования невозобновляемых природных ресурсов и загрязнения окружающей природной среды.

В докладе говорилось о том, что все составляющие исследования каждый год увеличиваются согласно закону, который математики называют экспоненциальным ростом. Учёные пришли к выводу, что существующие модели экономического роста, производства и потребления, разрушая гармоничное развитие природной биосистемы, неминуемо приближают экологическую катастрофу. Под реальной угрозой оказывается само выживание человечества [1].

«Пределы роста» значительно повлияли на общее восприятие экологических кризисов, а вопросы защиты окружающей среды появились в глобальной политической повестке. Итоги доклада обсуждались мировым сообществом одновременно с организацией и проведением Конференции ООН 1972 г. (Стокгольмская конференция).

[1] Римский клуб – международная неправительственная общественная организация, созданная с целью исследования глобальных проблем современности.

Она стала первым международным мероприятием по проблемам окружающей среды, в ходе которого принята Декларация об окружающей человека среде. Данный документ можно назвать источником международного экологического права. Кроме того, в рамках конференции создана Программа ООН по окружающей среде – ЮНЕП (United Nations Environment Program), целью которой являлось налаживание межгосударственного сотрудничества в области охраны природы [2]. Однако, несмотря на всю актуальность и важность поднятых на конференции вопросов, в первой половине 1980-х годов глобальная социально-экологическая ситуация не улучшилась.

В 1980 г. учреждена Всемирная программа исследований климата; её задачи – развитие фундаментальных научных знаний о физической климатической системе и её процессах, изучение изменения климата и степени антропогенного влияния на него.

В 1982 г. Генеральная Ассамблея ООН приняла Всемирную хартию природы, согласно которой основные естественные процессы должны сохраняться на относительно неизменном уровне, а всем формам жизни необходимо обеспечить возможность существования.

Итоговый доклад «Наше общее будущее», представленный Генеральной Ассамблеей ООН в 1987 г., носил оптимистичный характер. В нём отмечалось, что общество способно преодолеть трудности (бедность и нищету, исчерпание природных ресурсов, загрязнение окружающей среды и др.), если экономический рост будет ориентироваться на рациональное направление деятельности, эффективное использование природных ресурсов, расширение человеческого потенциала.

Стратегия позитивного функционирования цивилизации связывается с реализацией концепции её устойчивого развития [3]. Материалы доклада и результаты его международного обсуждения положены в основу решений Конференции ООН по окружающей среде и развитию (Саммит Земли, Рио-де-Жанейро, 1992 г.), в рамках которой подводились итоги «экологического двадцатилетия» (1972–1992 гг.). Общими усилиями участников форума подготовлены и утверждены три фундаментальных документа:

- Рио-де-Жанейрская декларация по окружающей среде и развитию, которая состоит из 27 пунктов (принципов), созданных на основе Стокгольмской декларации;
- «Повестка дня на XXI век» – программа действий, направленная на реализацию концепции глобального устойчивого развития;
- «Заявление о принципах глобального консенсуса по управлению, сохранению и устойчивому развитию всех видов лесов».

Кроме того, были открыты для подписания Рамочная конвенция ООН об изменении климата и Конвенция о биологическом разнообразии [4].

Документы «Рио-92», или Встречи на высшем уровне по проблемам Земли, признавали усиление деградационных изменений глобальной экосистемы, несмотря на масштабную деятельность в природоохранной сфере.

Конференция в г. Рио-де-Жанейро совпала с 20-летием «Пределов роста». Изучив статистику за данный период, группа Д.Л. Медоуза пришла к заключению: при незначительных числовых расхождениях негативная динамика цивилизации в целом сохраняется [5].

В г. Йоханнесбурге (ЮАР) 26 августа – 4 сентября 2002 г. состоялся Всемирный саммит по устойчивому развитию «Рио-92+10», на котором приняты обязательства по обеспечению доступа к водным ресурсам и санитарии, развитию энергетики, увеличению производства сельскохозяйственной продукции, надлежащему использованию токсичных химических веществ, сохранению биологического разнообразия [6]. Итоги «устойчивого десятилетия»: несмотря на действия, предпринимаемые мировым сообществом для стабилизации социально-экологической ситуации, на глобальном уровне не удалось существенно повысить качество жизни человека и улучшить показатели естественной среды его обитания.

В это же время приближалось 30-летие первого доклада Римскому клубу. Исследования по-прежнему подтверждали, что общество неуклонно движется в зону «неравновесного состояния», т. е. мировая социально-экологическая ситуация имеет тенденцию к ухудшению. Указано, что с 1950 по 2000 г. годовое потребление ископаемых энергоресурсов выросло примерно в 10 раз (нефти – в 7, природного газа – в 14), а население планеты за этот период увеличилось в 2,5 раза. В книге «Пределы роста. 30 лет спустя» Д.Л. Медоуз приходит к выводу: если в ближайший период не произвести «серьёзную коррекцию» расходования природных ресурсов, то коллапс человечества в той или иной форме будет неизбежен, и «наступит он ещё при жизни нынешнего поколения» [7].

С 13 по 22 июня 2012 г. в г. Рио-де-Жанейро проходила следующая Конференция ООН по устойчивому развитию «Рио+20». Главные темы официальных дискуссий: как создать «зелёную» экономику для достижения устойчивого развития и вывода людей из нищеты; как улучшить международную координацию устойчивого развития [8].

Позднее на Саммите ООН по устойчивому развитию в документе «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года» сформулированы 17 глобальных целей устойчивого развития (рисунок 1), ориентированных на период до 2030 г. [9].

При всём многообразии принимаемых и утверждаемых законопроектов, межгосударственных договорённостей и проводимых форумов реальность такова, что, согласно статистике ООН, ситуация не улучшается, а становится только хуже. Динамика отдельных социально-экологических показателей эволюции человечества приведена в таблице.

В масштабах планеты принципы устойчивого развития во многом остаются лишь провозглашаемой с трибун желаемой целью. Глобальный экологический кризис усугубляется, а нынешние системы управления не в состоянии снизить растущую нагрузку общества на природную среду и ресурсы.

В 2022 г. исполнилось ровно полвека с момента выхода в свет доклада «Пределы роста». Вот что по этому случаю сказал руководитель научной группы профессор Д.Л. Медоуз: «Что бы мы ни рекомендовали в 1972 году, сейчас это не актуально. В 1972-м воздействие человечества на окружающую среду, вероятно, было ниже уровня самоподдержания планеты, и цель тогда была в том, чтобы замедлить события, прежде чем мы столкнёмся с пределом. Теперь ясно, что масштабы человеческой деятельности намного превышают предел. И теперь цель в том, чтобы вернуть систему к прежним – приемлемым – уровням. <...> Снизить наши потребности до уровня, который может выдержать планета. Это совсем не те задачи, которые мы ставили перед собой в 1972 году... Для решения этих задач потребуется совершенно иная модель, чем та, которую мы построили, и кому-то придётся написать другие книги» [12].



Рисунок 1 – Цели в области устойчивого развития человечества

Таблица – Динамика отдельных показателей развития человечества*

Показатель	1990 г.	2005 г.	2018 г.	2023 г.	Темп прироста 2023 г. к 1990 г., %
Население Земли, млрд чел.	5,28	6,51	7,59	8,02	+51,89
Доля проживающих в городах с населением более 1 млн чел., % от общей численности населения	18	21	24	25	+38,89
Потребление электроэнергии, кВт·ч**	1×10^{13}	$1,5 \times 10^{13}$	$2,2 \times 10^{13}$	$2,4 \times 10^{13}$	+140
Площадь пашни, га/чел	0,23	0,21	0,18	0,18	–21,74
Площадь лесов, млн км^2	42,03	41,2	40,6	40,45	–3,76
Выбросы CO_2, млрд тонн	21,3	28,4	35,6	37,4	+75,59

* На основе данных [10].
** На основе данных [11].

Основные глобальные проблемы современности

Глобальные проблемы современности – это совокупность вопросов, имеющих общепланетарный характер и затрагивающих интересы всего человечества.

Глобальные проблемы, рассматриваемые в статье, представлены на рисунке 2.

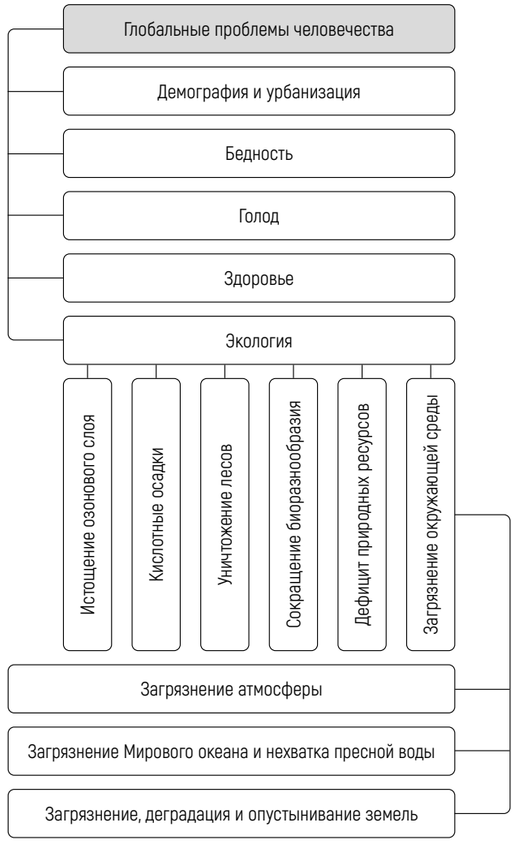


Рисунок 2 – Глобальные проблемы человечества

Демография и урбанизация

В 2022 г. население Земли превысило 8 млрд человек, увеличившись на 1 млрд с 2010 г. Несмотря на постепенное замедление темпов роста, согласно прогнозам ООН, численность населения составит 9,7 млрд человек примерно в 2050 г. и 10,4 млрд примерно в 2100 г. [13] (рисунок 3).

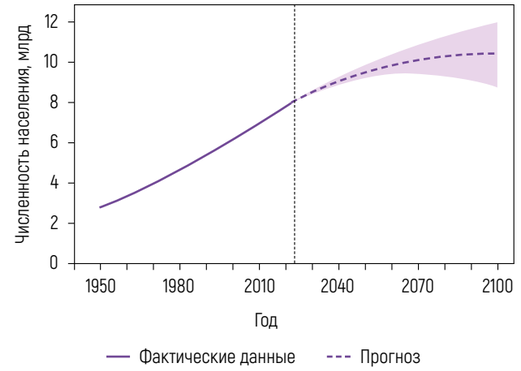


Рисунок 3 – Численность населения Земли в 1950–2100 гг.

Увеличение численности населения на планете необратимо приводит к усилению влияния людей на окружающую среду, становится причиной нерационального использования природных ресурсов и их истощения, возникновения нищеты, бедности, недостатка продовольствия, проблем эмигрантов и беженцев, стремительной урбанизации, в результате которой экосистемы теряют устойчивость и деградируют.

Такое воздействие является следствием не просто роста численности населения, а увеличения объёма потребления каждого человека, а также применения неэкологичных технологий для удовлетворения этого уровня потребления.

На сегодняшний день в малых и больших городах проживает около 55 % населения мира. По прогнозам ООН, к 2050 г. данный показатель достигнет 70 %, причём рост в основном будет приходиться на страны Азии и Африки. Современная урбанизация сопровождается ухудшением состояния окружающей среды, особенно в развивающихся странах, где это стало угрозой для здоровья населения. Хаотичность городской застройки, отсутствие рационального планирования и законодательного регулирования, что присуще большинству таких государств, непосредственное соседство густозаселённых жилых районов и промышленных предприятий с устаревшей технологией и без очистных сооружений ещё более ухудшают ситуацию [14].

Бедность

Бедность сегодня всё шире признаётся глобальным явлением и, как правило, отражает черту, ниже которой минимальные потребности людей в питании, одежде и крове не могут быть удовлетворены.

По данным доклада ООН 2023 г., в 110 странах мира 1,1 млрд из 6,1 млрд человек (чуть более 18 %) живут в условиях острой многомерной бедности [15], при этом:

- более 50 % бедных людей не имеют ни электричества, ни экологически чистого топлива для приготовления пищи;
- более 30 % лишены одновременно всего: нормального питания, надлежащего жилья, соответствующих условий в сфере санитарии, безопасного топлива для приготовления пищи;
- почти 40 % не имеют доступа к питьевой воде и необходимым условиям в сфере санитарии.

Авторы совместного исследования ЮНИСЕФ и Всемирного банка приводят такие данные: более 333 млн детей в мире (каждый шестой ребёнок) живут в условиях крайней нищеты [16]. Эксперты предупреждают, что при текущем темпе роста количества бедных цель устойчивого развития по искоренению детской бедности к 2030 г. не будет достигнута.

Голод

В августе 2023 г. на заседании Совета Безопасности ООН по предотвращению голода заявлено, что в 2022 г. число голодающих в мире достигло 0,25 млрд человек, и это самый высокий показатель за последнее время [17].

В докладе «Состояние продовольственной безопасности и питания в мире» за 2023 г. показано, что в 2022 г. с голодом столкнулись в среднем 735 млн человек. Это на 122 млн (примерно на 19,9 %) больше по сравнению с 2019 г. Острый голод в 2023 г. переживали 281,6 млн человек. Миллионы детей в возрасте до пяти лет продолжают страдать от недоедания [18].

Здоровье

В докладе Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) «Мировая статистика здравоохранения», представленном в 2023 г., отмечалось отсутствие прогресса по ключевым показателям здоровья в последнее время по сравнению с тенденциями, наблюдавшимися в 2000–2015 гг. Данный документ также содержит предупреждение о растущей угрозе неинфекционных заболеваний. Доля случаев смерти, ежегодно вызываемых ими, постоянно растёт и сегодня составляет почти 3/4 от общего числа ежегодных случаев смерти [19].

Воздействие неблагоприятных социальных, экономических, геополитических и экологических обстоятельств (включая бедность, насилие, неравенство) также повышает риск возникновения психических расстройств. По информации ВОЗ, в мире они входят в первую пятёрку заболеваний, ведущих к потере трудоспособности. В 2019 г. каждый восьмой житель планеты, т. е. в общей сложности 970 млн человек, имел такой недуг [20]. В 2020 г. число людей, страдающих тревожными и серьёзными депрессивными расстройствами, увеличилось на 26 и 28 % соответственно [21].

Ещё одна проблема – онкологические заболевания. К 2050 г. прогнозируется более 35 млн новых случаев, что на 77 % больше, чем в 2022 г. Табак, алкоголь и загрязнение воздуха остаются ключевыми факторами роста заболеваемости [22].

Экология

Изменения окружающей среды в результате воздействия на неё человека или стихийных бедствий, ведущие к нарушениям функционирования природной системы, называют экологическими проблемами.

Некоторые из них названы ещё в 1972 г. на Конференции ООН по проблемам окружающей среды. Уже тогда учёные и эксперты призывали рационально использовать природные ресурсы Земли, ограничивать выбросы тепла и предотвращать загрязнение морей. С тех пор прошло более 50 лет, однако эти вопросы не только не решены, но с каждым годом ситуация усугубляется, а их перечень растёт.

Каковы сегодня глобальные экологические проблемы?

Истощение озонового слоя. Озоновый слой – уникальная защитная оболочка Земли, которая задерживает большую часть космических излучений (в том числе ультрафиолетовую радиацию), гибельных для всего живого на нашей планете.

Концентрация озона в атмосфере находилась в стабильном состоянии до 1970–1980 гг. Затем учёные начали наблюдать истощение озонового слоя, что связали с попаданием в атмосферу разрушающих веществ.

Существует два пути их поступления:

- антропогенный (использование человеком веществ, выделяющих хлор, которые содержатся в растворителях, аэрозолях, кондиционерах, холодильниках);
- природный (извержения вулканов, солнечные пятна, стратосферные ветры).

В настоящее время эксперты склоняются к тому, что основные причины истончения озоновой оболочки – сверхзвуковая реактивная авиация и запуски тяжёлых космических ракет.

В 1985 г. над Южным полюсом обнаружен участок диаметром около 1000 км с примерно 50-процентным снижением концентрации озона, получивший название «озоновая дыра».

В 1995 г. над Восточной Сибирью зарегистрировано рекордное падение содержания озона – более чем на 40 %, а в октябре – ноябре 1996 г. выявлена самая крупная и глубокая дыра над Антарктидой. Учёные прогнозируют, что озоновые дыры могут в ближайший период возникнуть над Скандинавией, Россией, Канадой [23].

Как отмечается в исследовании ООН, концентрация разрушающих озон веществ в стратосфере хоть и медленно, но снижается. Предположительно, это связано с принятием Монреальского протокола по веществам, отрицательно влияющим на озоновый слой. Данный документ определил перечень мер по защите озонового слоя, которые принимаются на регулярной основе с 1987 г.

Кислотные осадки. Осадки с высоким содержанием азотной и серной кислоты, т. е. кислотные дожди, наблюдаются в районах с большим количеством промышленных предприятий, автобанов и значительной плотностью населения. Такие осадки губительны для почвы, растительного и животного мира. Кислотные дожди не только убивают природу, но и разрушают здания и памятники архитектуры. Страдают и люди, вынужденные пить загрязнённую воду.

Основной путь решения проблемы кислотных осадков – снижение выбросов в атмосферу окислов серы и азота, в первую очередь сернистого газа.

Уничтожение лесов. В настоящее время лес произрастает на всех континентах, кроме Антарктиды, покрывает около 31 % суши и занимает более 4000 млн га.

Велико влияние лесов на окружающую среду. Они регулируют климатические процессы и водный режим мира, играют огромную роль в сохранении биоразнообразия и являются ключевым фактором обеспечения жизни на Земле. Леса в значительной степени продуцируют биосферный кислород, поглощают CO_2, содействуют очищению воздуха от пыли и копоти и препятствуют дальнейшему их распространению.

По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединённых Наций (ФАО), с каждым годом общемировая площадь лесов сокращается примерно на 10 млн га [24]. Для сравнения: территория Республики Беларусь составляет 20,8 млн га.

Леса оказались под угрозой вырождения и уничтожения в результате возрастающих нагрузок со стороны человека. В докладе британской природоохранной организации Botanic Gardens Conservation International отмечено: от трети до половины всех видов деревьев находится под угрозой исчезновения. Вместе с ними могут погибнуть и тысячи зависящих от них видов растений и животных.

Оценки, полученные ФАО в 62 странах (включают 78 % площадей, занимаемых тропическими лесами), свидетельствуют о том, что в период 1980–1990 гг. леса уничтожались со скоростью 16,8 млн га/год. Оставшиеся 800 млн га тропических лесов вырубаются и разрушаются с такой скоростью, что к 2030 г., по различным прогнозам, уцелеет всего 200–370 млн га.

В 2021 г. на Конференции ООН по изменению климата собрались более 100 мировых лидеров, которые подписали обязательство остановить и обратить вспять вырубку лесов к 2030 г. Однако на сегодняшний день площадь лесных массивов по-прежнему сокращается.

Если леса исчезнут, планета останется без естественного защитного барьера: вырастет число пожаров и наводнений, а когда-то плодородные почвы превратятся в пустыни.

Сокращение биоразнообразия. Совокупность всех видов живых организмов составляет биоразнообразие планеты.

По данным Международного союза охраны природы, с 1600 г. на Земле вымерли 94 вида птиц и 63 вида млекопитающих. ФАО отмечает, что в последние десятилетия исчезли многие редкие виды животных, растений и других организмов. Основные причины – изменение климата, потеря мест обитания, чрезмерная эксплуатация природных ресурсов, браконьерство и незаконная торговля [25].

В недавнем докладе Межправительственной научно-политической платформы по биоразнообразию и экосистемным услугам сообщалось, что на грани полного исчезновения – около миллиона видов флоры и фауны. Многие животные и растения могут быть безвозвратно потеряны уже в ближайшие десятилетия. Более 90 % морских рыбных запасов подвергаются перелову или стремительно сокращаются [26].

Утрачивая биоразнообразие Земли, человечество лишается своего будущего. Важным средством в охране редких и исчезающих биологических видов являются Красные книги. С этой же целью в июне 1992 г. в г. Рио-де-Жанейро на Конференции ООН по окружающей среде подписана Конвенция о биологическом разнообразии.

Дефицит природных ресурсов. Одним из следствий роста населения Земли становится постепенное истощение её невозобновляемых ресурсов. Увеличение объёмов потребления, развитие экономики и промышленности приводят к повышению спроса на нефть, газ, полезные ископаемые, лес и пресную воду. По оценкам ООН, добыча природных ресурсов планеты за последние пять десятилетий утроилась.

Согласно докладу, опубликованному в марте 2024 г. Международной группой по ресурсам Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП), ожидается, что добыча полезных ископаемых увеличится на 60 % к 2060 г. и может подорвать усилия в достижении глобальных целей по вопросам изменения климата, сохранения биоразнообразия и борьбы с загрязнением [27]. В данном документе говорится о необходимости радикальных изменений в политике и сокращения роста использования ресурсов на треть для минимизации воздействия на окружающую среду.

При сегодняшних объёмах потребления минерального сырья и с учётом того, что они продолжают расти, разведанных запасов углеводородного топлива человечеству хватит на несколько десятилетий, т. е. ещё на одно-два поколения землян. При этом под угрозой истощения оказываются и возобновляемые природные богатства, прежде всего – биоресурсы.

Загрязнение окружающей среды. Одна из глобальных экологических проблем, которая касается всех государств и особенно остро стоит в странах развивающегося мира. Вся мировая экономика является причиной возникновения загрязнений и отходов, образующихся в процессе производства конечного продукта, который по прошествии времени и сам становится отходом.

Рассмотрим виды загрязнений окружающей среды.

Загрязнение атмосферы. В качестве главных источников загрязнения выступают тепловая энергетика, металлургическая, химическая и нефтехимическая, целлюлозно-бумажная промышленность, строительная индустрия и автомобильный транспорт. Далее вредные вещества могут попасть в воду, почву, растения, а из них – в организм человека. Существенная часть выбросов приходится на развитые страны.

Данные ВОЗ показывают, что почти всё население мира (99 %) дышит воздухом, уровень загрязнённости которого превышает рекомендуемые предельные значения. Совокупное влияние загрязнения окружающего воздуха снаружи и внутри жилых помещений является фактором преждевременной смерти 6,7 млн человек в год [28].

Уменьшить воздействие основных источников загрязнения атмосферы предлагается за счёт мер, стимулирующих развитие более экологически чистых видов транспорта, повышение энергоэффективности зданий, электроэнергетики и промышленного производства, а также совершенствование систем удаления муниципальных отходов.

Загрязнение Мирового океана и нехватка пресной воды. Мировой океан занимает более 70 % поверхности Земли. Именно от состояния воды зависит благополучие экосистем и климат всей планеты в целом.

Ежегодно в воду попадают тысячи самых разнообразных высокотоксичных химических веществ: тяжёлые металлы, пестициды, нитраты и фосфаты, поверхностно-активные вещества, лекарственные препараты. С атомных электростанций в неё проникают радиоактивные отходы. Ежегодно в моря и океаны поступает до 12 млн тонн нефти, что наносит огромный ущерб биосфере и в настоящее время приобретает глобальный характер. Сброс неочищенных стоков в водные источники приводит к микробиологическим загрязнениям. Общий объём антропогенных сбросов в море ориентировочно оценивается в 100 млн т/год.

По информации ВОЗ, 80 % заболеваний в мире вызваны неподобающим качеством и антисанитарным состоянием воды. Около 90 % сельских жителей постоянно пользуются для питья и купания загрязнённой водой.

В докладе Всемирной метеорологической организации «Состояние глобальных водных ресурсов в 2022 году» отмечается, что 3,6 млрд человек сталкиваются с проблемой недостаточного доступа к воде хотя бы один месяц в году, и прогнозируется увеличение этой цифры до более чем 5 млрд человек к 2050 г. [29]. Учёные ожидают, что наземные запасы воды будут постепенно уменьшаться.

Необходимы специальные мероприятия по охране Мирового океана от постоянно возрастающего антропогенного давления, которые должны включать запрещение загрязнения его вод, регулирование использования его ресурсов, создание охраняемых акваторий, мониторинг и др.

Загрязнение, деградация и опустынивание земель. Деградация земель – снижение или потеря продуктивности пахотных угодий или пастбищ в результате землепользования.

Почвы, которые когда-то были плодородными, из-за влияния человека и потепления климата страдают от эрозии. Потери здоровых земель ежегодно составляют не менее 100 млн га. Новая информация ООН свидетельствует о том, что земли деградируют быстрее, чем мы успеваем их восстановить [30].

На сегодняшний день треть почвы во всём мире подверглась деградации из-за эрозии. По прогнозам ФАО, к 2050 г. в результате данного явления будет уничтожено 90 % всей почвы планеты [31]. При таких темпах деградации плодородный покров Земли может стать полностью истощённым уже через 100 лет.

Причины рассматриваемого процесса следующие: чрезмерный выпас домашнего скота на пастбищах, увеличение количества возделывания земель, вырубка лесов, сельскохозяйственная деятельность (пахота, применение химических удобрений, ядохимикатов и др.), чрезмерная эксплуатация в результате различных видов строительства, горнодобывающая промышленность, урбанизация, экстремальные климатические явления (засухи и засоление прибрежных земель), а также различные виды промышленных загрязнений, в том числе от транспорта.

Деградация земель ведёт к климатическим изменениям, разрушению природных экосистем на всей планете и биосферы в целом. В наше время около 280 млн человек страдают в той или иной степени от влияния опустынивания, которое становится причиной бедности и голода. В 1982 г. принята Всемирная хартия почв, которая призывает правительства всех стран рассматривать почвенный покров как всемирное достояние.

Альтернативный вариант развития человечества

К сожалению, концепция устойчивого развития проявила свою несостоятельность во многих вопросах и не решила проблем современного общества.

Для достижения устойчивого развития человечества, как продемонстрировали события последних лет, концепция предлагает сдерживать экономический рост и технологический прогресс, а также нести дополнительные затраты на создание «экологически чистых» и «ресурсосберегающих» технологий. Однако это ведёт к удорожанию жизни и показывает неэффективность многих распиаренных идей с позиций дальнесрочной экологической чистоты и сбережения ресурсов (это можно наблюдать на примере электромобилей, «зелёной» энергетики, карбонового следа и др.). К тому же насильственные ограничения всегда воспринимаются человеком как ущемление его свободы.

По прогнозам ООН, при сохранении существующих тенденций глобальные цели покончить с нищетой, голодом, отсутствием продовольственной безопасности и полноценного питания во всех его формах не будут достигнуты к 2030 г. Число недоедающих в мире всё ещё намного превышает допандемический уровень, и ожидается, что в 2030 г. почти 600 млн человек по-прежнему будут голодать. Миллионы детей (в возрасте до пяти лет) продолжают страдать от задержки роста (148 млн), истощения (45 млн) и избыточного веса (37 млн). Ни один регион не достигнет к 2030 г. цели по снижению доли детей с низким весом при рождении, что связано с питанием женщин до и во время беременности [32].

На сегодняшний день не решены глобальные экологические проблемы (кризис биоразнообразия, ухудшение качества воды, разрушение лесных экосистем, городское и промышленное загрязнение, увеличивающееся количество бытовых и промышленных отходов, деградация почвы, нерациональное использование природных ресурсов). Искусственное сдерживание экономического роста и технологического прогресса, сокращение потребления на данном этапе не способны решить вопрос загрязнения окружающей среды и восполнить нехватку ресурсов.

Планете необходима перезагрузка инженерного вектора эволюции цивилизации на принципиально новую парадигму [33], нужна программа, которая поэтапно трансформирует существующее социально-экологическое положение в мире, обеспечит продовольственную, энергетическую, технологическую, инфраструктурную и экологическую безопасность.

Альтернативный вариант развития человечества предложен инженером, конструктором и изобретателем А.Э. Юницким в масштабной программе «ЭкоМир» [34]. Она включает в себя комплекс мер, направленных на устранение глобального экологического кризиса, начиная с изменения концепции современных городов, транспортно-инфраструктурных решений и заканчивая безопасным вынесением вредной земной промышленности в ближний космос. Основные элементы программы и их взаимосвязь представлены на рисунке 4.

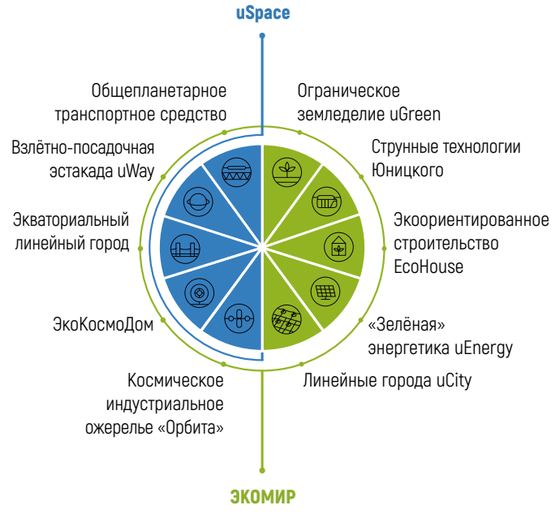


Рисунок 4 – Элементы программы «ЭкоМир»

Программа предусматривает следующие основные аспекты:

• восстановление земной биосферы, включающей в себя естественные и культурные (органическое земледелие) экосистемы на суше планеты; океаническую, морскую и атмосферную экосистемы с возможностью экологически чистого управления извне погодой и климатом; растительный и животный мир с сохранённым их биоразнообразием; земное человечество, каждый индивидуум которого здоров и счастлив;

• формирование земной индустрии (т. е. размещённой внутри биосферы планеты) на основе новых экологически чистых технологических отраслей, состоящих только из необходимых человеческой цивилизации дружественных биосфере (биосферных) инженерных технологий;

• создание геокосмического самонесущего (опирающегося только на самого себя) летательного аппарата – общепланетарного транспортного средства (ОТС) [35], обеспечивающего экологически чистую для биосферы транспортно-логистическую связь между земными и космическими компонентами индустриального ТехноМира. Запуск ОТС с его высокой грузоподъёмностью (за один рейс – до 10 млн тонн грузов и до 10 млн пассажиров) позволит построить космическое индустриальное ожерелье «Орбита», включающее в себя индустриальные объекты (солнечные электростанции, орбитальные заводы, цеха, лаборатории и др.) и ЭкоКосмоДома, которые дадут человеку (обслуживающему персоналу) возможность вести полноценную жизнь вдали от земного дома;

• формирование космической индустрии, состоящей в том числе из вынесенных за пределы биосферы Земли энергозатратных, ресурсоёмких, экологически вредных и других отраслей промышленности.

Технологические платформы, разработанные белорусским конструктором А.Э. Юницким и его инженерной командой, способны поддерживать биосферу Земли в состоянии экологического баланса.

Технологическая платформа uGreen – органическое экоориентированное земледелие, которое полностью исключает какое-либо угнетающее антропогенное воздействие на биосферу Земли. Применение агробиотехнологий, таких как биогумус и органические удобрения uTerra, позволит ускорить рост культур и повысить их урожайность на 35–50 %, увеличить содержание витаминов, аминокислот и биоминеральных веществ в продуктах питания, нормализовать кислотность почвы, уменьшить присутствие нитратов, радионуклидов и тяжёлых металлов в пище.

Технологическая платформа uEnergy – генерация «зелёной» электрической и тепловой энергии на Земле с использованием:

• специально оборудованных теплоэлектростанций для экологически чистого сжигания бурого угля, сланцев, торфа и другого сырья органического происхождения с целью выработки живого плодородного гумуса из отходов их горения;

• возобновляемых источников энергии – энергии Солнца на Земле и в космосе, а также энергии ветра и морских течений;

• пары «водород – кислород» в качестве топливного аккумулятора для оптимизации энергетической отрасли планеты, а также для дальних космических рейсов, в том числе за ресурсами в пояс астероидов.

Технология солнечной биоэнергетики полностью экологически чистая и безотходная. Отходы биотеплоэнергостанций – биогумус – способны полностью окупить производство электрической и тепловой энергии. Например, станция мощностью 1 млн кВт может ежегодно вырабатывать биогумус в объёме, достаточном для превращения пустыни площадью 2500 га в тучный чернозём.

Технологическая платформа EcoHouse – экоориентированное строительство на Земле жилых и производственных зданий и сооружений. Главная идея – нулевое воздействие на окружающую среду и здоровье человека, что позволит снизить потребление энергоресурсов за счёт использования эффективных систем отопления и охлаждения, уменьшить зависимость от ископаемых видов топлива, улучшить качество воздуха, способствовать продовольственной и энергетической безопасности.

Технологическая платформа «Струнные технологии Юницкого» (ЮСТ) – строительство нового вида транспортно-инфраструктурных и энергоинформационных сетей.

Транспортную доступность обеспечат несколько видов эстакадного электрического беспилотного рельсового транспорта ЮСТ: городского (скорость до 150 км/ч), высокоскоростного (до 360 км/ч), ультраскоростного (до 600 км/ч) и гиперскоростного (более 600 км/ч) – для кластерных, региональных, континентальных и межконтинентальных дистанций, в том числе через моря и океаны.

Данный транспорт экологически чистый, имеет высокую пропускную способность (одна линия – до 1 млн пассажиров и до 500 000 тонн грузов в сутки) [35], не требует большого количества ресурсов для строительства, является самым энергоэффективным и экономичным. ЮСТ прост в эксплуатации и управлении, характеризуется высокими показателями безопасности, надёжности и долговечности, предусматривает минимальное использование земли (точечно под опоры; по сравнению с автомобильной магистралью – примерно в 100 раз меньше).

Альтернативой мегаполисам станут линейные города uCity, которые гармонично впишутся в окружающую среду любой природно-климатической зоны планеты. Они дополнительно создадут плодородную землю, ведь на эксплуатируемых крышах зданий и сооружений будут расти сады. Такие города обеспечат себя всем необходимым для жизнедеятельности – чистой энергией, органической пищей и родниковой водой [36]. Реализация проекта даст возможность ежегодно производить миллионы тонн живого высокоплодородного гумуса, исключить негативное воздействие на природу и оптимально использовать энергетические ресурсы планеты, поддерживать продовольственную безопасность жителей линейного города, повысить плодородие почв, построить уникальную безбарьерную среду.

Все перечисленные технологии рентабельны, инвестиционно привлекательны и дополняют друг друга. Экономическая стабильность, гарантированная неиссякаемостью ресурсов ближнего и дальнего космоса, позволит сформировать общество, живущее в комфортных условиях в гармонии с природой.

У человечества уже сегодня есть всё необходимое для реализации программы «ЭкоМир». Мы в силах сделать Землю цветущей планетой, на которой хватит места и ресурсов для всех нас, ныне живущих, и для наших далёких потомков, даже если их будет 10, 20 или 30 млрд.

Заключение

При сохранении нынешних темпов роста и развития техносферы, созданной нашей инженерной цивилизацией на Земле, через два поколения предсказывается такой уровень загрязнения и разрушения биосферы, истощения отдельных видов ресурсов, что наша планета станет непригодной для жизни.

Несмотря на пессимистичные прогнозы, существуют экоориентированные технологии, которые способны решить многие экологические проблемы, восстановить биосферу Земли и предполагают использование экологически безопасного транспорта «второго уровня», проживание людей в самообеспеченных линейных городах кластерного типа, переход на полностью органическое сельское хозяйство и «зелёную» биоэнергетику, превращение пустынь в высокоплодородные чернозёмы.

Реализация проекта ОТС откроет огромные перспективы в области геокосмической логистики, информационных и энергетических коммуникаций, обеспечит эффективный доступ к безграничным ресурсам космоса – энергетическим, минеральным, пространственным и технологическим (невесомость и глубокий вакуум), а также даст возможность вынести за пределы биосферы тяжёлую индустрию и промышленную энергетику.

В статье представлены, систематизированы и структурированы глобальные экологические проблемы человечества и сделан вывод, что доктрина инженера А.Э. Юницкого является наиболее целесообразной для их решения в нашем общем доме по имени Планета Земля в логике «Земля – для жизни. Космос – для индустрии».

Список основных источников

1. *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind / D.H. Meadows [et al.]. – New York: Universe Books, 1972. – 206 p.*
2. *Цверианашвили, И.А. Стокгольмская конференция 1972 г. и её роль в становлении международного экологического сотрудничества / И.А. Цверианашвили // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2016. – № 1. – С. 84–94.*
3. *Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development / United Nations. – Oxford: Oxford University Press, 1987. – 383 p.*
4. *Конференция ООН по окружающей среде и развитию, Рио-де-Жанейро, Бразилия, 3–14 июня 1992 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.un.org/ru/conferences/environment/rio1992. – Дата доступа: 21.06.2024.*
5. *Meadows, D.H. Beyond the Limits: Confronting Global Collapse, Envisioning a Sustainable Future / D.H. Meadows, D.L. Meadows, J. Randers. – Hartford: Chelsea Green Publishing, 1992. – 300 p.*
6. *Всемирный саммит по устойчивому развитию, 26 августа – 4 сентября 2002 года, Йоханнесбург [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.un.org/ru/conferences/environment/johannesburg2002. – Дата доступа: 20.06.2024.*
7. *Медоуз, Д. Пределы роста. 30 лет спустя: пер. с англ. / Д. Медоуз, Й. Рандерс, Д. Медоуз. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 342 с.: ил.*
8. *Конференция ООН по устойчивому развитию, 20–22 июня 2012 года, Рио-де-Жанейро [Электронный ресурс]. –*

Режим доступа: https://www.un.org/ru/conferences/environment/rio2012. – Дата доступа: 21.06.2024.

9. *Цели в области устойчивого развития [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/sustainable-development-goals/. – Дата доступа: 19.06.2024.*
10. *Indicators [Electronic resource]. – Mode of access: https://data.worldbank.org/indicator?-%20tab=all. – Date of access: 15.07.2024.*
11. *Потребление электроэнергии в регионах и странах мира [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.eeseaec.org/potreblenie-elektroenergii-v-regionah-i-stranah-mira. – Дата доступа: 15.07.2024.*
12. *Доклад «Пределы роста»: 50 лет спустя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://madan.org.il/ru/news/doklad-predely-rosta-50-let-spustya. – Дата доступа: 20.06.2024.*
13. *World Population Prospects 2022: Summary of Results [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf. – Date of access: 10.07.2024.*
14. *Поварова, Л.В. Анализ экологических проблем современности и пути их решения / Л.В. Поварова // Наука. Техника. Технологии (Политехнический вестник). – 2019. – № 3. – С. 120–142.*
15. *Глобальный индекс многомерной бедности 2023 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://intosairussia.org/ru/novosti-media/kratkie-obzory/globalnyj-indeks-mnogomernoj-bednosti-2023-g.html. – Дата доступа: 11.07.2024.*
16. *ООН: Миллионы детей живут в условиях крайней нищеты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://news.un.org/ru/story/2023/09/1444712. – Дата доступа: 11.07.2024.*
17. *Число голодающих в мире достигло четверти миллиарда человек [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://news.un.org/ru/story/2023/08/1443462. – Дата доступа: 19.06.2024.*
18. *122 Million More People Pushed into Hunger Since 2019 Due to Multiple Crises, Reveals UN Report [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.fao.org/newsroom/detail/122-million-more-people-pushed-into-hunger-since-2019-due-to-multiple-crises--reveals-un-report/en. – Date of access: 19.06.2024.*
19. *Необходимы срочные действия для преодоления застоя в достижении связанных со здоровьем Целей в области устойчивого развития [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.who.int/ru/news/item/19-05-2023-urgent-action-needed-to-tackle-stalled-progress-on-health-related-sustainable-development-goals. – Дата доступа: 13.07.2024.*
20. *GBD Results [Electronic resource]. – Mode of access: https://vizhub.healthdata.org/gbd-results/. – Date of access: 13.07.2024.*
21. *Mental Health and COVID-19: Early Evidence of the Pandemic's Impact: Scientific Brief, 2 March 2022. – Geneva: World Health Organization, 2022. – 11 p.*
22. *ВОЗ: Число раковых больных в мире продолжает расти [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://news.un.org/ru/story/2024/02/1449057. – Дата доступа: 04.06.2024.*
23. *Баришполец, В.А. Анализ глобальных экологических проблем / В.А. Баришполец // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2011. – Т. 3, № 1. – С. 79–96.*
24. *Изменить отношение к лесу [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://courier.unesco.org/ru/articles/izmenit-otnoshenie-k-lesu. – Дата доступа: 14.07.2024.*
25. *Сокращение биоразнообразия планеты – прямая угроза благополучию её жителей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://news.un.org/ru/story/2019/05/1355591. – Дата доступа: 14.07.2024.*
26. *IPBES Global Assessment Preview: Introducing IPBES' 2019 Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.ipbes.net/news/ipbes-global-assessment-preview. – Date of access: 15.07.2024.*
27. *Богатые страны используют в шесть раз больше ресурсов и оказывают в 10 раз больше воздействия на климат, чем бедные страны [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.unep.org/ru/novosti-i-istorii/press-reliz/bogatye-strany-ispolzuyut-v-shest-raz-bolshe-resursov-i-okazyvayut-v. – Дата доступа: 15.07.2024.*
28. *Загрязнение атмосферного воздуха (воздуха вне помещений) и здоровье человека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health. – Дата доступа: 15.07.2024.*
29. *Новый доклад ВМО: необходимо улучшить мониторинг водных ресурсов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://news.un.org/ru/story/2023/10/1445717. – Дата доступа:15.07.2024.*
30. *Потери здоровых земель ежегодно составляют не менее 100 млн га [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.unccd.int/ru/news-stories/press-releases/least-100-million-hectares-healthy-land-now-lost-each-year. – Дата доступа: 15.07.2024.*
31. *В ФАО призвали остановить дальнейшую деградацию почв [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://news.un.org/ru/story/2019/12/1368501. – Дата доступа: 15.07.2024.*
32. *Положение дел в области продовольственной безопасности и питания в мире – 2023: краткий обзор. – Рим: ФАО, 2023. – 44 с.*
33. *Юницкий, А.Э. Цивилизационная ёмкость космического дома по имени Планета Земля / А.Э. Юницкий // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы IV междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 18 сент. 2021 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2022. – С. 23–73.*
34. *Юницкий, А.Э. Программа «ЭкоМир» / А.Э. Юницкий. – Минск, 2024. – 64 с.*
35. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.*
36. *Юницкий, А.Э. Инженерия. Мир как инженерный проект / А.Э. Юницкий // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы VI междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 7–8 окт. 2023 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2024. – С. 24–135.*



Решение
VII Глобальной конференции по индустриализации ближнего космоса

13–14 сентября 2024 г. в г. Марьина Горка (Беларусь) состоялась VII Глобальная конференция по индустриализации ближнего космоса.

Программа мероприятия включала пленарное заседание, стенд-сессию, работу секций, дискуссии, а также выставочную экспозицию и демонстрацию инновационных космических, инфраструктурных, транспортно-логистических, энергетических, биосферных, социально-экономических и агробиотехнологий. Вниманию участников было представлено 37 докладов.

Научный форум впервые прошёл под названием «Глобальная конференция по индустриализации ближнего космоса» и стал знаковым международным событием в сфере широкомасштабного индустриального освоения околоземного пространства. Цель конференции – обобщение результатов научно-исследовательских и научно-практических работ, осуществляемых в научных организациях, конструкторских бюро и инжиниринговых компаниях, а также выполняемых отдельными учёными и энтузиастами по следующим направлениям:

- решение глобальных биосферных проблем современности геокосмическими средствами;
- перспективы технологического освоения ближнего космоса в рамках геокосмической программы uSpace под девизом «Земля – для жизни. Космос – для индустрии»;
- организация безопасных широкомасштабных грузопассажирских потоков по маршруту «Земля – Ближний космос – Земля» с целью развития космической индустрии в интересах земной цивилизации;
- особенности проектирования, поиск решений биологического и экологического характера для устойчивого функционирования земной биосферы, сохранения биоразнообразия на нашей планете и освоения труднодоступных территорий с неблагоприятными условиями для жизни человека;
- специфика социальной организации линейных городов uCity;
- особенности международных и межкультурных отношений и создания международных объединений для реализации программы uSpace;
- проблемные аспекты использования социальных медиа при осуществлении программы uSpace и поиск эффективных решений;
- развитие технологии производства растительной продукции в рамках проекта «ЭкоКосмоДом» и на орбитальных станциях, предназначенных для длительного проживания человека в космосе;
- научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы по созданию самонесущего геокосмического летательного аппарата – общепланетарного транспортного средства, его наземной и орбитальной инфраструктуры: транспортной, энергетической и информационной.

По итогам VII Глобальной конференции по индустриализации ближнего космоса организационным комитетом и участниками принят ряд решений:

1. Дать высокую оценку научному и научно-техническому уровню представленных докладов.

2. Отметить чрезвычайную общечеловеческую значимость программы широкомасштабного освоения ближнего космоса и перезагрузки земной индустрии на биосферный вектор цивилизационного развития.

3. Подчеркнуть важность глобального геокосмического проекта по созданию общепланетарного транспортного средства как единственно возможного с инженерной точки зрения, следовательно, ключевого транспортно-логистического решения для индустриального освоения ближнего космоса.

4. Учитывая масштабность представленных на конференции работ, отметить первостепенное значение и очевидную актуальность развития сотрудничества между странами, международными организациями, ведущими мировыми компаниями, научно-исследовательскими учреждениями и университетами с целью осуществления программы uSpace.

5. Утвердить программу «ЭкоМир» в новой редакции, представленной Инженером Мира Анатолием Юницким.

6. Активно развивать сотрудничество между участниками настоящей конференции.

7. Приложить все усилия для создания совместных проектов и развития программы «ЭкоМир» с целью комплексного решения глобальных цивилизационных проблем современности: инфраструктурных, ресурсных, энергетических, продовольственных, экологических, социально-экономических, демографических, экономико-политических, иных.

8. Совместно с АНО «Научная школа стратегического планирования Н.И. Ведуты», АНО «Родина будущего», секцией «Искусственный интеллект в экономике» Научного совета РАН по методологии искусственного интеллекта и когнитивных исследований провести работу по основанию и запуску школы uSchool, ориентированной на подготовку инженерных кадров для биосферной цивилизации, на территории экопарка «Акварель». В последующем создать в его границах технопарк «Родина будущего», где планируется

реализация социокультурного и кибернетического подхода к образованию и воспитанию подростков и молодёжи. Данный проект позиционировать как пилотный для Союзного государства, направленный на обучение специалистов для новой экономики.

9. Для привлечения широкого круга исследователей, занимающихся проблематикой индустриального освоения ближнего космоса, регулярно участвовать в профильных международных мероприятиях, проводить презентации и представлять научные доклады о разработках и достижениях в рамках реализации программы uSpace.

10. Издать сборник научных трудов конференции. Обеспечить его представление в национальных и крупнейших профильных библиотеках мира, присутствие и продвижение в электронном формате на соответствующих научных порталах и площадках. Участникам, чьи работы будут опубликованы, оформить их в виде научных статей в соответствии с предъявляемыми требованиями.

11. В целях выхода на новый уровень общественной известности и поддержки, использования самых эффективных путей продвижения и реализации геокосмической программы uSpace провести в 2025 г. VIII Глобальную конференцию по индустриализации ближнего космоса. Для этого подобрать наиболее подходящую международную площадку, пригласить к диалогу стратегических партнёров, заинтересованных в скорейшей индустриализации ближнего космоса, а также обеспечить участие ключевых международных организаций, ведущих научно-исследовательских центров, лидеров наций и глав государств.

Организационный комитет конференции выражает признательность всем участникам, докладчикам, гостям, а также организациям и их представителям, благодаря которым мероприятие состоялось, и в первую очередь – председателю совета директоров группы компаний Юницкого, основному инвестору программы uSpace и настоящей конференции Анатолию Эдуардовичу Юницкому.

Приносим благодарность за большой вклад в развитие программы uSpace Центру международного промышленного сотрудничества ЮНИДО в Российской Федерации в лице его главы Игоря Владимировича Кожина; Международному муниципальному форуму БРИКС; Российской академии наук; Национальной академии наук Беларуси и отдельно управлению аэрокосмической деятельности; Министерству иностранных дел Российской Федерации и отдельно Торговому представительству Российской Федерации в Республике Беларусь; Госкорпорации «Роскосмос»; фонду «Сколково»; Корпорации развития Дальнего Востока и Арктики.

Особую признательность за участие в конференции и поддержку данного научного форума выражаем министру автомобильного транспорта и шоссейных дорог Индии господину Нитину Гадкари.

Организационный комитет конференции
14.09.2024, г. Марьина Горка














Шкала уровня развития цивилизаций
Хельге Каутц
I тип
II тип
III тип
IV тип
V тип
0 тип
VI тип


PONICS










uTerra
ДЕЛАЕМ ЗЕМЛЮ БОГАЧЕ
uTerra
ДЕЛАЕМ ЗЕМЛЮ БОГАЧЕ
uterra_elixir
uterra.by


VII Global Conference
on Near Space Industrialization
uSPACE

Глоссарий: термины и определения

Аббревиатура **ЮСТ (uST, UST)** выступает в качестве центрального бренда группы компаний Юницкого; объединяет в себе наименования технологии Струнного транспорта Юницкого (Unitsky String Technologies – **uST**), головной инжиниринговой компании ЗАО «Струнные технологии» (Unitsky String Technologies Inc. – **UST** или **UST Inc.**) и транспортно-инфраструктурных комплексов ЮСТ (uST transport and infrastructure complex / Unitsky String Transport) как физического воплощения транспортно-инфраструктурных решений ЮСТ (uST transport and infrastructure solutions).

Активная система защиты (АСЗ) – генератор электростатического поля, при прохождении которого отрицательно заряженные обломки космического мусора создают в нём резонансные колебания.

Биологическое равновесие – сохранение в течение длительного времени динамической стабильности природных комплексов (биогеоценозов), т. е. относительный баланс устойчивости видового состава живых организмов, их численности и продуктивности.

Биоразнообразие – природное разнообразие жизни во всех её проявлениях, а также показатель сложности биологической системы, разнокачественности её живых компонентов. Биоразнообразие рассматривают на иерархических уровнях организации жизни, среди которых стоит выделить основные: молекулярно-генетический, организменно-видовой, биогеоценотический и биосферный.

Биотопливо – различные виды горючих продуктов, полученных из растительного сырья, главными преимуществами которых являются возобновляемость и аккумулирование солнечной энергии, поступающей на Землю.

Взлётно-посадочная эстакада общепланетарного транспортного средства (uWay) – взлётно-посадочный, энергетический и коммуникационный комплекс эстакадного типа для геокосмических перевозок, размещённый вдоль экватора и совмещённый с линейным экопоселением нового поколения.

Геокосмическая программа uSpace – программа безракетного освоения ближнего космоса с помощью общепланетарного транспортного средства (ОТС), реализация которой обеспечит сохранение земной биосферы путём выноса индустрии (техносферы) за пределы планеты Земля (за пределы земной биосферы).

Искусственная атмосфера – специально подобранная смесь газов, которая обеспечивает нормальное дыхание и газообмен у живых организмов, включая человека, находящихся в условиях замкнутой (закрытой) экосистемы; по качеству не уступает земной атмосфере. Газовая составляющая пространства ЭкоКосмоДома (ЭКД) – искусственная атмосфера.

Космическая солнечная электростанция (КСЭС) – орбитальная солнечная электростанция, использующая энергию Солнца; обеспечивает энергонезависимость и биосферную экологическую безопасность космического индустриального ожерелья «Орбита» (КИО «Орбита»).

Космический вектор индустриализации – глобальное перевооружение земной техносферы с целью устранения её антропогенного угнетающего воздействия на биосферу Земли за счёт перемещения экологически вредных, энерго- и ресурсоёмких отраслей и предприятий в космос на низкие околоземные орбиты. Космический вектор индустриализации также предполагает модернизацию части индустрии, оставленной на Земле и функционирующей в биосфере, на основе экоориентированных технологий.

Космическое индустриальное ожерелье «Орбита» (КИО «Орбита») (англ. – Industrial Space Necklace "Orbit" – ISN "Orbit") – обслуживающий земное человечество многоорбитальный транспортно-инфраструктурный и индустриально-жилой комплекс, охватывающий планету в плоскости экватора, являющийся функциональным аналогом земного экваториального линейного города (ЭЛГ), размещённым в космосе, а также плацдармом для защиты от космических угроз (в том числе метеоритных) и платформой для экспансии земной цивилизации в дальний космос.

Линейный город uCity – пешеходное городское поселение кластерного типа, поверхность земли в котором предназначена для людей, животных и зелёных насаждений; застройка жилых, административных, индустриальных и многофункциональных кластеров реализуется с использованием экоориентированных технологий EcoHouse; обеспечение электроэнергией и теплом осуществляется в соответствии с технологией uEnergy; снабжение продуктами питания взаимосвязано с технологией органического земледелия uGreen; транспортные, энергетические и информационные коммуникации размещены над землёй на втором уровне (эстакадное исполнение) согласно технологии ЮСТ. Линейные города uCity отличают отсутствие антропогенного угнетающего воздействия на биосферу Земли, высокая эффективность городского хозяйствования и его автономность, а также достойный уровень качества жизни и условий труда для каждого жителя.

Общепланетарное транспортное средство (ОТС) (англ. – General Planetary Vehicle – GPV) – геокосмический самонесущий летательный аппарат многоразового использования для безракетного индустриального освоения ближнего космоса, выполненный в виде опоясывающего Землю в экваториальной плоскости тора; обеспечивающий индустриальные грузо- и пассажиропотоки (миллионы тонн грузов и миллионы пассажиров в год) с Земли на околоземные экваториальные орбиты и обратно; основанный на единственно возможной (с позиций физики) экологически чистой и с минимальными энергозатратами геокосмической транспортной технологии, использующей только внутренние силы системы (летательного аппарата) и электрическую энергию.

Пищевая солнечная биоэнергетика (ПСБЭ) – энергетика, основанная на комплексном потреблении и переработке биомассы растений, впитавших энергию Солнца, с целью получения биотоплива, корма для животных и пищи для человека.

Реликтовая солнечная биоэнергетика (РСБЭ) – энергетика, основанная на применении ископаемых бурых углей и горючих сланцев, для получения чистой энергии и одновременного образования живого гумуса, необходимого для восстановления плодородия различных типов почв.

Технологическая платформа «Струнные технологии Юницкого» (ЮСТ) (англ. – Unitsky String Technologies – uST) – строительство (вдоль линейных городов uCity) нового вида транспортно-инфраструктурных и энергоинформационных сетей uNet, создаваемых на основе предварительно напряжённых (струнных) конструкций Юницкого. Предназначена для обеспечения всех необходимых коммуникационных связей между объектами (и континентами) на Земле; между объектами в ближнем космосе, движущимися по круговым экваториальным орбитам; между объектами на Земле и размещёнными в ближнем космосе.

Технологическая платформа «ЭкоКосмоДом» (ЭКД) (англ. – EcoCosmoHouse – ECH) – строительство в космосе сооружений с внутренним обитаемым пространством, изолированным от внешней агрессивной космической среды. В ЭКД создана замкнутая экосистема земного типа, включающая искусственно полученную гравитацию, живую плодородную почву, флору и фауну (в том числе микрофлору и микрофауну), атмосферу с регулируемыми параметрами (температура, влажность и др.) для неограниченно длительного, автономного, экокомфортного проживания и деятельности как отдельных людей и их групп, так и многотысячных поселений на экваториальных орбитах планеты, а также в открытом ближнем и дальнем космосе.

Технологическая платформа EcoHouse – экоориентированное строительство на Земле жилых и производственных зданий и сооружений с открытым для внешней природной (биосферной) среды придомовым пространством, заполненным естественной и культурной (органическое земледелие) экосистемами, в которых атмосферные, почвенные и водные параметры регулируются земной природой. Почва из-под зданий при их строительстве переносится на крыши и этажи, затем обогащается живым гумусом. Озеленение проходит сообразно принципу: любое строительство на планете – это увеличение площади плодородных почв и повышение их плодородия.

Технологическая платформа uEnergy – генерация «зелёной» электрической и тепловой энергии с использованием:

- специально оборудованных теплоэлектростанций для экологически чистого сжигания бурых углей, сланцев, торфа и другого сырья органического происхождения с целью выработки живого плодородного гумуса из отходов их горения;
- возобновляемых источников энергии – энергии Солнца на Земле и в космосе, а также энергии ветра и морских течений;
- пары «водород – кислород» в качестве топливного аккумулятора для решения задач оптимизации энергетической отрасли планеты и космических перевозок.

Технологическая платформа uGreen – органическое земледелие в новой логике воссоздания и интенсификации природных биосферных процессов путём прямого заимствования и использования естественных природных почвенных экосистем со своими микрофлорой, микрофауной и биогеоценозом, а также в логике полного отказа от применения каких-либо синтетических химикатов (удобрения, средства защиты растений и др.), технологий генной модификации и других элементов традиционного интенсивного земледелия.

Транспортно-инфраструктурная сеть uNet – международная сеть транспортных, энергетических и информационных коммуникаций, созданная на базе транспортно-инфраструктурных решений ЮСТ вдоль линейных городов uCity.

Устойчивое развитие – «удовлетворение потребностей нынешнего времени, не подвергая угрозе возможность последующих поколений удовлетворять свои потребности». Понятие сформулировано Международной комиссией по окружающей среде и развитию при ООН и положено в основу целей и принципов деятельности ООН.

Центр испытаний и сертификации uSky – научно-производственный кластер транспортно-инфраструктурных решений ЮСТ, построенный в Объединённых Арабских Эмиратах (г. Шарджа).

Цивилизационная техногенная развилка – стадия развития земной техносферы, в момент достижения которой техногенная человеческая цивилизация оказывается перед исторически важным выбором двух взаимоисключающих сценариев действий:

1) земная цивилизация продолжает развивать традиционный техногенный вектор, ограничиваясь только размерами и ресурсами планеты. При этом потребление ресурсов кардинально не меняется, так как мировая экономика опирается на морально устаревшие и ресурсоёмкие технологии (в первую очередь – транспортно-логистические технологии столетней давности). Как следствие, точка невозврата от деградации, угасания и гибели человеческой цивилизации наступит примерно через два поколения (в третьей четверти XXI в.);

2) начало индустриализации ближнего космоса, получение доступа к его неограниченным ресурсам, бесконечным пространству, веществу и энергии, а также к новым технологическим ресурсам: невесомости, глубокому вакууму, технологической чистоте (без пыли и микроорганизмов) и космическим излучениям. Обязательное требование: используемые на планете неэффективные транспортно-инфраструктурные технологии, энергетика, среда обитания (города), инфраструктура и сельское хозяйство, представляющие наибольшую угрозу для земной биосферы, должны быть замещены более совершенными коммуникациями и экоориентированными технологиями.

Экваториальный линейный город (ЭЛГ) (англ. – Equatorial Linear City – ELC) – земной компонент геокосмического транспортно-коммуникационного комплекса, на территории которого размещена стартовая эстакада ОТС со всей инфраструктурой, необходимой для осуществления полётов ОТС и обслуживания глобальных геокосмических грузо- и пассажиропотоков. Представляет собой гармонично вписанные в природную среду сухопутных и океанических участков планеты поселения кластерного типа, соединённые между собой трассами ЮСТ и размещённые на полосе вдоль экватора.

ЭкоКосмоДом для цивилизационной панспермии (ЭКД-Ковчег) (англ. – EcoCosmoHouse for civilizational panspermia – ECH-Arc) – космическое сооружение с биосферной замкнутой экосистемой, предназначенное для межзвёздных перелётов. Имеет форму тела вращения – веретена длиной 500–2000 м и диаметром 200–500 м, способно принять на хранение земную жизнь, включая экипаж численностью 1000–10 000 человек, чтобы перенести её на экзопланеты. ЭКД-Ковчег не только представляет собой земную биосферу в миниатюре, но и является сложнейшим автономно существующим в течение тысяч лет летательным аппаратом со своей энергетикой, двигателями, запасами топлива и исчерпаемых ресурсов (не участвующих в биосферном круговороте), инженерными коммуникациями, ремонтной базой, жилым и производственным фондом, агротехникой, агро- и аквакультурами, флорой, фауной и плодородной почвой, а также социумом с детским садом, школой и университетом, лечебным заведением, рабочими местами с сотней специальностей и др.

ЭкоКосмоДом на планете Земля (ЭКД-Земля) (англ. – EcoCosmoHouse on planet Earth – ECH-Earth) – земное сооружение, предназначенное для автономного и неограниченно длительного проживания человеческого поселения расчётной численности. Во внутреннем замкнутом пространстве ЭКД-Земля поддерживаются условия для развития экосистем, имеется совокупность необходимых для этого свойств биосферы планеты, а также моделируются дополнительные технологические процессы, гарантированно обеспечивающие потребности человека для существования (параметры атмосферы и среды обитания, пищевые ресурсы и др.). ЭКД-Земля является земной биосферной моделью ЭКД в части создания и организации внутреннего пространства и всех соответствующих составляющих (биосфера, технологии, взаимосвязи процессов и др.) с замкнутым круговоротом вещества (живого и минерального), энергии и информации.

ЭкоМир – программа, предусматривающая развитие экоориентированных биосферных технологий, направленных на трансформацию основных сфер земной промышленности, инфраструктуры, энергетики, транспорта, сельского хозяйства. Предполагает вынесение вредной части земной индустрии в ближний космос с целью обеспечения равновесия в совершенном мире, представленном триединством БиоМира, ТехноМира и ХомоМира, которые в совокупности образуют комплекс оптимальных условий для устойчивого роста и дальнейшего развития земной техногенной цивилизации в космическом направлении.

БиоМир – восстановленная и сбалансированная планетарная, открытая в космос биосферная экосистема, которая более не испытывает антропогенного угнетающего воздействия техносферы Земли и продолжает развиваться по законам эволюционно сложившейся земной природы. Включает:

- естественные и культурные (органическое земледелие) экосистемы на суше планеты, в том числе водные (озёра, реки и др.);
- океаническую, морскую и атмосферную экосистемы с возможностью экологически чистого управления извне погодой, климатом и иными системами планеты природными методами;
- растительный и животный мир сухопутных и водных экосистем (включая микрофлору и микрофауну) с сохранённым и ныне доступным их биоразнообразием;
- земное человечество, каждый индивидуум которого здоров и счастлив.

ТехноМир – вновь созданные индустриальные компоненты:

1) земная индустрия, сформированная на основе новых экоориентированных технологий и состоящая только из необходимых человеку внутри биосферы Земли технологических отраслей;

2) космическая индустрия, включающая вынесенные за пределы биосферы Земли энергозатратные, ресурсоёмкие, экологически вредные и другие отрасли промышленности, которые в условиях космической технологической среды приобретают абсолютное конкурентное ценовое и качественное превосходство;

3) геокосмический транспортный комплекс ОТС, обеспечивающий экологически чистую для земной биосферы транспортно-логистическую связь между земными и космическими компонентами индустриального ТехноМира с грузо-, энерго-, инфо- и пассажиропотоками индустриального масштаба;

4) искусственный интеллект для управления вышеуказанными компонентами 1–3 под многоуровневым контролем ХомоМира.

ХомоМир – усовершенствованное мировое общественно-политическое устройство, основанное на консолидации международного сообщества биологических людей (но не оцифрованных биороботов-конвергентов) вокруг единого управляющего центра, аккумулирующего территориальный, финансовый, экономический, научный, кадровый, военный и политический потенциал всех стран-участниц. Это откроет путь к неисчерпаемым и доступным ресурсам космоса и на основе космоориентированной экономики земной техногенной цивилизации создаст новые социально-политические и экономические условия для максимально полной реализации целей устойчивого развития биологического человечества, в том числе обеспечения социальной справедливости, равноправия, свобод, гармоничного развития, а также права каждого жителя планеты на достойную долгую и счастливую жизнь. ХомоМир развивается и управляется людьми, использующими в качестве помощника и советника (но не руководителя) искусственный интеллект. Главная ценность ХомоМира – человечность Человека и его духовность как социобиологической сущности, созданной Мирозданием (Богом) в результате миллиардов лет эволюции жизни в космическом доме по имени Планета Земля.

Экосистема – биологическая система (биогеоценоз), состоящая из сообщества живых организмов (биоценоз), среды их обитания (биотоп), а также системы связей, которая осуществляет обмен веществом и энергией между ними.

ЭкоТехноПарк – демонстрационно-сертификационный центр транспортно-инфраструктурных решений ЮСТ, построенный в Республике Беларусь (г. Марьина Горка).

Sustainable-BioTech – экологическая система, сочетающая в себе комплекс инновационных инженерных, агро-, био- и почвообразующих технологий. Основные её компоненты: реликтовое и органическое сырьё, а также не тронутая пахотой почва и почвенные микроорганизмы, взятые особым образом из мирового Банка почв, расположенного в Республике Беларусь на территории Крестьянского (фермерского) хозяйства «Юницкого» (КФХ «Юницкого») (г. Марьина Горка). Сырьё окончательно перерабатывается в живой плодородный гумус с помощью ассоциаций почвенных микроорганизмов и уникального вида червей *Lumbricus* uTerris, специально выведенного в КФХ «Юницкого».

Sustainable Biosphere Cluster (SBC) – центр компетенций в области озеленения пустынь. Станет основой для воплощения технологической платформы uGreen в условиях жаркого тропического климата – среды с факторами негативного воздействия (например, высокая температура), влияющими на культивирование растений.

uBioSystem – замкнутая экосистема с контролируемыми технологическими процессами (освещение, температурный режим, воздушный обдув, скорость течения воды и др.) для автономного и длительного существования сообщества живых организмов.

uMach – концепт гиперскоростного транспортно-инфраструктурного комплекса ЮСТ. Предназначен для передвижения со скоростью выше 1000 км/ч внутри форвакуумного тоннеля (с искусственно сниженным атмосферным давлением) для обеспечения перевозок на значительные (от 200 км) расстояния.

uSocio – оптимальная социальная среда нового типа для проживания малочисленных групп людей (2000–5000 человек), основанная на методе стратификации. В uSocio благодаря возможности свободного выбора места проживания удовлетворяются социальные потребности: социокультурные связи, общие ценности, религиозные мировоззрения, соблюдение традиций, увлечение искусством, развитие этнических и межэтнических контактов и др.

uTerra – биогумус (рассыпчатый и жидкий – эликсир плодородия), производимый из бурого угля, золы, органического сырья, инокулята, аэробных и анаэробных микроорганизмов, используемый для повышения плодородия и улучшения качественных характеристик любых почв, в том числе песков пустыни.



Рецензии на сборник научных трудов VII Глобальной конференции по индустриализации ближнего космоса

Рецензия Петра Витязя,

академика НАН Беларуси, доктора технических наук, профессора, заслуженного деятеля науки, начальника управления аэрокосмической деятельности НАН Беларуси, заместителя руководителя Агентства по космическим исследованиям НАН Беларуси



Земля является одним из объектов Солнечной системы в бесконечном космическом пространстве. Жизнь на нашей планете зависит от процессов, происходящих в её недрах, от влияния ближнего и дальнего космоса и деятельности человека. В связи с этим, анализируя доклады VII Глобальной конференции по индустриализации ближнего космоса, мы должны учитывать такую зависимость, понимать, что всё находится в движении, изменении и имеет своё начало и свой конец жизненного цикла. Многие из указанных процессов изучены, но гораздо больше из них требуют изучения. Мы можем констатировать значительный рост населения на Земле, мы видим климатические изменения, увеличение числа техногенных катастроф. Идёт трансформация экологии, причём данный процесс ускоряется. По этой причине идея индустриализации ближнего космоса, предложенная организатором, идеологом и вдохновителем конференции Анатолием Юницким, является не только полезной, но и своевременной. Концепция учёного «Земля – для жизни. Космос – для индустрии» и ряд выполненных им и под его руководством разработок в области инженерии и экосистем уже сейчас используются как в Республике Беларусь, так и в зарубежных странах.

Проект безракетной индустриализации ближнего космоса интересен, но на сегодняшний день звучит несколько фантастично, поскольку требует решения не только множества инженерных, технологических, экономических, юридических проблем, но и объединения усилий всего человечества на планете Земля.

Анализируя материалы настоящего сборника научных трудов, хочу отметить, что они представлены в четырёх секциях, посвящены различным направлениям, однако имеют единую цель – безракетную индустриализацию ближнего космоса и улучшение жизни на нашей планете.

В секции «Геокосмические и геотехнические науки, технологии, материалы и ресурсы» собраны доклады, рассматривающие экологические проблемы индустриализации околоземного космического пространства. Как сказано в работе В.Ю. Клюшникова, к таким проблемам относятся:

- фрагменты спутников – космический мусор;
- аэрозольное загрязнение;
- электромагнитное загрязнение;
- световое загрязнение небосвода;
- воздействие пусков ракет-носителей на земные экосистемы.

На сегодняшний день наибольшая опасность исходит от космического мусора, значит, при интенсивном освоении ближнего и дальнего космоса необходимо учитывать все виды возможных загрязнений и вырабатывать систему их устранения и защиты от них.

В докладе Анатолия Юницкого об утилизации отходов космической индустриализации приведены интересные решения, которые можно использовать в будущем при освоении околоземного пространства.

В секции «Энергетические и информационные геокосмические науки, технологии, материалы и ресурсы» представлены выполненные Анатолием Юницким и его учениками исследования по созданию и применению общепланетарного транспортного средства в качестве элемента единой энергетической системы Земли. Данные разработки



целесообразно рассматривать как модели для необходимых расчётов, которые могут быть использованы при решении отдельных проблем в космическом пространстве.

Описанные в статьях электроразрядные технологии и дополнительные источники кислорода для двигателей внутреннего сгорания уже сегодня задействованы в нашей жизни, и исследования по их развитию и расширению применения, в том числе в космосе, являются актуальными.

В работах секции «Экологические и биологические аспекты замкнутых экосистем биосферного типа на Земле и в космосе» авторами изложены и изучены условия и факторы, влияющие на плодородие почв, повышение урожайности отдельных культур и их устойчивости к болезням. Показаны преимущества решений ЗАО «Струнные технологии» по уменьшению антропогенной нагрузки на окружающую среду и предотвращению деградации земель. Стоит отметить исследования по использованию биотехнологий для поэтапного восстановления пустынных почв, а также по подбору микроорганизмов, которые сохраняют свою активность в среде с высоким содержанием соли. Их внесение одновременно с органическими удобрениями может быть полезно для рекультивации солончаков. Кроме того, такие микроорганизмы могут применяться для биологической очистки стоков, утилизации отходов жизнедеятельности и поддержания автономности экосистемы.

Представлены также эксперименты по выращиванию перепелов в закрытой экосистеме. Изучены необходимые для этого требования и условия, предложена оптимизация питания птицы посредством добавления в корм микроводоросли хлореллы.

Для того чтобы сохранить стабильность психологического состояния при длительном пребывании людей в замкнутых экосистемах, авторы предлагают использовать композиции эфирных масел, предназначенные для проведения сеансов ароматерапии и применения в составе натуральных косметических средств.

Кроме того, приведены материалы по разработке и созданию оборудования для культивирования растений в замкнутой экосистеме. Выполнены эксперименты и даны рекомендации по соблюдению определённых требований для его использования.

Описаны условия образования и утилизации отходов в замкнутых экосистемах при длительном пребывании в них человека. Названы основные виды живых организмов (черви, бактерии, микрогрибы, водоросли), которые могут участвовать в их переработке.

Рассмотрен вариант применения биогенных элиситоров и показано их положительное влияние по сравнению с синтетическими агрохимикатами при культивировании растений в замкнутых экосистемах. В одной из работ обозначены методы повышения пищевой ценности и продуктивности культур с помощью почвенного эликсира плодородия uTerra.

Для создания замкнутых экосистем на Земле описаны конструктивные решения, среди которых оптимальными являются круглый шатёр с несущими плоскими струнами (стальные ленты) и многослойные прозрачные покрытия из фторполимера, выполненные в виде плоской струны-мембраны. Данная технология интересна для разработки жилых систем с искусственным климатом, а также может использоваться при освоении космоса.

Направление исследований секции «Социальные, правовые, политические и финансовые аспекты развития человеческой цивилизации на Земле и в космосе» достаточно понятно, однако создание в современном обществе правовых условий для совместного освоения ближнего и дальнего космоса требует от человечества перехода на новый качественный уровень существования.

Путь земной цивилизации продемонстрировал не только развитие науки, технологий, техники, но и возможную гибель всего живого на нашей планете. В связи с этим в статьях описаны подходы к совершенствованию жизни землян и потенциальному развитию технологий, техники и социального общества при освоении космического пространства. Показано, что интерес к космосу, его изучению и освоению будет динамично увеличиваться, и авторы рассматривают индустриализацию ближнего космоса как одно из направлений содействия развитию нового общества.

На этом пути, как предлагает Анатолий Юницкий, на планете Земля необходимо выполнить комплекс мер, ориентированных на устранение глобального экологического кризиса, начиная с изменения концепции строительства современных городов, трансформации транспортно-инфраструктурных решений и вынесения вредной земной промышленности в ближний космос. Учёный предлагает объединить усилия человечества, чтобы разделить в пространстве биосферу и техносферу. Это обеспечит сохранность и развитие жизни на нашей планете и создаст условия для гармоничного взаимодействия человеческой цивилизации с биосферой. По мнению авторов трудов конференции, такой подход приведёт к консолидации и формированию цивилизационного патриотизма в общепланетарном масштабе, поэтому видится единственно возможным при текущем развитии нашей земной техногенной цивилизации, её технологий, науки и всего общества.

Анатолий Юницкий уверен и предлагает:

- Земля – для биосферы, человечества и экоориентированных технологий, необходимых земной техногенной цивилизации;
- космос – для всех экологически вредных, энерго- и ресурсоёмких индустриальных технологий.

По его мнению, первым шагом на этом пути является создание эффективной геокосмической транспортно-инфраструктурной системы по маршруту «Земля – Ближний космос – Земля». Преимущество космоса как места для развёртывания индустриальной техносферы связано с особенностями его среды:

- отсутствием гравитации;

• технологической чистотой (отсутствие газов, пыли, микроорганизмов и иных загрязнений);

• криогенными и высокими температурами;

• возможностью сверхбыстрого охлаждения до сверхнизких температур;

• возможностью создания высоких температур с помощью солнечного излучения.

В целом конференция и представленные доклады по безракетной индустриализации ближнего космоса показывают убеждённость главного инвестора и вдохновителя мероприятия – инженера, учёного, бизнесмена, учителя, прекрасного организатора и модератора Анатолия Эдуардовича Юницкого, являющегося основателем международной группы компаний, где работают более 1000 высококвалифицированных специалистов, создана школа инженеров, технологов, учёных и управленцев.

На VI международной научно-технической конференции «Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты» мне понравилась атмосфера мероприятия, вызвали интерес многие доклады и выставка разработок. Поэтому я принял участие в VII Глобальной конференции по индустриализации ближнего космоса и тоже с удовлетворением отмечаю хорошую организацию форума, возросшее количество докладов молодых учёных школы Юницкого и достаточно высокий уровень работ. Фактически в них изложена дорожная карта индустриализации ближнего космоса, создания экосистем при строительстве городов на планете Земля и формирования нового цивилизованного и консолидированного общества.

Направления разработок и представленные решения указанных проблем понятны, но они сложны, а значит, потребуют нового правопорядка на мировом уровне. Строительство общепланетарного транспортного средства и вывод на орбиту системы для индустриализации ближнего космоса по своему замыслу и инженерному подходу не имеет аналогов в мире. Выполнение данного проекта изменит наш мир, поможет продлить жизнь на планете для будущих поколений землян и создаст условия для освоения космоса в интересах всего человечества. Это, на мой взгляд, пока философская идея, которая требует осмысления всеми народами, консолидации экономических, экологических, правовых, технологических и производственных решений и организации их исполнения. Мы видим, что жизнь быстро меняется, появляются новые технологии, включая искусственный интеллект, материалы, технику и др. В ряде случаев то, что раньше было фантастикой, сегодня работает и используется нами.

В заключение хочу отметить, что в 2024 г. исполнилось 90 лет со дня рождения Ю.А. Гагарина, который первым в мире открыл человечеству путь в космос. В этом же году Марина Василевская первой из граждан суверенной Республики Беларусь совершила космический полёт на Международную космическую станцию и провела ряд исследований, за что удостоена Президентом Республики Беларусь А.Г. Лукашенко звания Героя Беларуси.

Модернизируется Белорусская космическая система дистанционного зондирования Земли, идёт работа над новым белорусско-российским космическим аппаратом с разрешением 0,35 м, почти собран и готовится к запуску малый спутник для наблюдения за ионосферой Земли, выполняется ряд научно-технических программ и проектов по космической тематике. Сотрудник Национальной академии наук Беларуси Ольга Мастицкая в составе команды из шести человек участвовала в международном годовом изоляционном проекте SIRIUS-23, проходившем на базе Института медико-биологических проблем Российской академии наук. Всё это характеризует динамику освоения космоса.

Желаю белорусу Анатолию Юницкому дальнейших успехов в решении поднятых им проблем по безракетной индустриализации ближнего космоса и в использовании выполненных им и его учениками разработок для улучшения жизни людей в Республике Беларусь, Союзном государстве и в мировом масштабе.

Строительство общепланетарного транспортного средства и вывод на орбиту системы для индустриализации ближнего космоса по своему замыслу и инженерному подходу не имеет аналогов в мире. Выполнение данного проекта изменит наш мир, поможет продлить жизнь на планете для будущих поколений землян и создаст условия для освоения космоса в интересах всего человечества.

Рецензия Юрия Плескачевского,

члена-корреспондента НАН Беларуси, доктора технических наук, профессора, заслуженного деятеля науки Республики Беларусь



Глобальное и системное изучение общепланетарных и ближнекосмических проблем

В отличие от шести предыдущих, в названии седьмой конференции по проблемам безракетной индустриализации ближнего космоса впервые появился термин «глобальная». Согласно словарю русского языка С.И. Ожегова, глобальный – это охватывающий весь земной шар, полный, всеобъемлющий. Выдающийся инженер и мыслитель Анатолий Эдуардович Юницкий назвал своё главное инженерное «детище» как Общепланетарное транспортное средство (ОТС), а термин «глобальная» отнёс к тому широчайшему комплексу проблем, идей, инженерных проектов и задач, которые, как и ОТС, «опоясывают» весь земной шар и касаются, без преувеличения, всех аспектов жизни и деятельности человечества. Поэтому термины «общепланетарное» и «глобальная» использованы вполне обоснованно.

Вторая особенность седьмой конференции состоит в разделении всего многообразия проблематики на четыре секции. Естественно предположить, что по мере расширения и углубления «фронта» работ количество секций в последующих конференциях будет только увеличиваться. С годами каждая из подобных секций может превратиться в самостоятельные конференции, которые в совокупности будут направлены на достижение главной цели – практическое осуществление величайшего в истории человечества инженерного проекта под названием «Общепланетарное транспортное средство».

Открывает сборник статья А.Э. Юницкого «Программа «ЭкоМир». Основные положения этой программы изложены в предыдущих публикациях автора, но в представленной статье он переосмысливает и системно увязывает в единый многофакторный комплекс все положения программы. При этом, впервые столь отчётливо и громко, «бьёт во все колокола». Приведём в подтверждение несколько цитат: «...биосфера нашей планеты заполнена технологическим смогом, угрожающим не только человечеству, но и всей жизни на Земле», «...мы как никогда далеки от решения глобальных экологических и социально-экономических проблем», «...антропогенное угнетение биосферы продолжает усугубляться».

С годами каждая из секций может превратиться в самостоятельные конференции, которые в совокупности будут направлены на достижение главной цели – практическое осуществление величайшего в истории человечества инженерного проекта под названием «Общепланетарное транспортное средство».

Практическая реализация предложенной А.Э. Юницким программы «ЭкоМир» позволит «переключить» человечество на биосферный путь цивилизационного развития. А пока рецензент вынужден констатировать, что забрезживший было свет в конце тоннеля померк. Стрелки часов «Судного дня» посекундно приближают нас к апокалипсису: 28 января текущего года они сдвинулись на одну секунду вперёд и теперь показывают 89 секунд до полуночи. Таким образом, как ещё никогда за 78 лет существования этих часов, стрелки не приближались так близко к краху цивилизации. Но А.Э. Юницкий и вся его команда единомышленников и соратников продолжают благородное дело, поддерживаемое участниками всех уже состоявшихся конференций (и не только ими) и которое, хочется верить, будет в своё время достойно оценено нашими прозревшими потомками.

В секции «Геокосмические и геотехнические науки, технологии, материалы и ресурсы» представлены доклады, каждый из которых может претендовать на новое направление научно-технического поиска. В этом сила планетарного масштаба идей А.Э. Юницкого, но в этом и их сложности расчёта, моделирования и реализации. Высокой оценки заслуживает работа А.Э. Юницкого «Утилизация отходов космической индустрии». Автор считает, что вынос промышленного производства в космос прекратит накопление отходов на Земле, что кардинально улучшит её экологию. Наиболее целесообразно разместить промышленные производства первого и последующих технологических переделов в точках Лагранжа L_4 и L_5 системы «Солнце – Земля». Естественно предположить, что найдутся радетели «за чистоту космоса». Следует их упреждающе успокоить. Все подлежащие переработке сырьевые ресурсы будут доставляться с ближайших астероидов и Луны, т. е. их компоненты, остающиеся после извлечения того, что будет использовано в последующих переделах, не являются «чуждыми» для космоса. Отходами их и назвать нельзя, поскольку они будут использованы для построения стенок, куполов и других сооружений, защищающих промышленные объекты и их персонал от радиации и метеоритов. Соответствующие убедительные расчёты А.Э. Юницким приведены.

В этой секции особое внимание рецензента привлёк доклад д. т. н. В.Н. Клюшникова (АО «ЦНИИмаш», г. Королёв, Россия), в котором впервые выполнены прогноз и анализ наиболее существенных экологических проблем, связанных с начальными этапами индустриализации околоземного космического пространства (ОКП), которые неизбежно будут сопряжены с многочисленными пусками ракет-носителей, прежде чем полномасштабно начнёт функционировать ОТС. Масштабная индустриализация ОКП приведёт к глобальным воздействиям на экосистему Земли. При этом автор статьи вынужден констатировать, что «вследствие диссипативности и нелинейности свойств земных геосфер (геосред)» невозможно предсказать однозначно результаты воздействия многочисленных пусков ракетносителей, можно «лишь указать общие тенденции, способные привести к ухудшению экологической ситуации на планете Земля».

Принципиально новые инженерные решения содержат доклады, посвящённые конструированию и расчёту электромагнитного подвеса ротора ОТС, устойчивости эстакады ОТС и её аэродинамики.

Несколько искусственно в проблематику данной секции включена сугубо теоретическая статья Р.В. Хачатурова о так называемом «реликтовом» излучении. Это «дно» температурного поля Вселенной, равное сейчас 2,725 К и считающееся реликтом Большого взрыва. По мнению рецензента, автор статьи справедливо ставит под сомнение в целом теорию Большого взрыва, приверженцы которой не учитывают такие уже бесспорные факторы, как хаотичность движений галактик (например, галактика М31 движется к нам), а также доказанную академиком Я.Б. Зельдовичем крупномасштабную неоднородность структуры Вселенной, фактически её ячеистость. Отметим, что нитевидная ячеистая структура Вселенной по Я.Б. Зельдовичу, свидетельствующая о произошедшем бесконечном множестве взрывов, подобных Большому и происходящих в космосе перманентно (например, взрывы сверхновых), в большей мере соответствует интерференционной картине, чем приведённая на рисунке 1 данной статьи. Эти факторы не учитывает и теория единичного Большого взрыва, и теория Гипервселенной по Р.В. Хачатурову, но при этом, справедливости ради, последняя представляется более значительным шагом к познанию истинности происхождения и трансформаций Вселенной.

В секции «Энергетические и информационные геокосмические науки, технологии, материалы и ресурсы» отметим работу А.Э. Юницкого, В.Н. Гаранина и А.А. Боровика «Применение общепланетарного транспортного средства в качестве элемента единой энергетической системы Земли». Реализация предложенных в статье решений прежде всего предполагает создание общепланетарной единой энергетической системы. Технически и технологически соединить воедино распределительные цепи планеты и подключить к ним все генерирующие источники и всех потребителей электроэнергии – это осуществимо уже в наше время. Более того, создание такой единой системы позволило бы значительно повысить эффективность и мобильность генерирующих мощностей за счёт перетока электроэнергии по мере движения линии терминатора (день-ночь) по часовым поясам Земли. Для создания такой единой системы нужна политическая воля руководителей государств и их альянсов. Сегодня, с сожалением отметим, воля политиков направлена на иные цели.

В такой единой общепланетарной энергетической системе ОТС отведена уникальная роль: на этапе разгона ротора до космических скоростей ОТС будет потреблять энергию, а на этапе спуска и торможения уже выступит в качестве генератора, отдающего электроэнергию в единую энергетическую систему.

В статье предложена схема единой энергетической системы, включающей ОТС как потребителя и генератора, внешние генерирующие и аккумулирующие станции, а также потребителей электроэнергии планеты. Основные идеи авторов подкреплены убедительными расчётами.

Другие статьи данной секции посвящены созданию конструкционных и технологических основ использования различных источников энергии и новых технологий как для функционирования ОТС, так и для энергообеспечения наземных и орбитальных потребителей.

Секция «Экологические и биологические аспекты замкнутых экосистем биосферного типа на Земле и в космосе» отличается многоаспектностью обсуждаемых и предлагаемых решений.

Один из важнейших разделов предложенной А.Э. Юницким программы «ЭкоМир» посвящён восстановлению плодородия почв. Об этом первая статья этой секции, в которой предложены уже в значительной степени апробированные практически различные биотехнологии восстановления и поддержания плодородия почв, которые могут применяться в сложных почвенно-климатических условиях, а также для обеспечения высокой урожайности земель, которые будут задействованы вдоль эстакады ОТС, экваториального линейного города, трасс рельсо-струнного транспорта и поселений на Земле, а затем и в ЭкоКосмоДомах.

В поле научных интересов и как предметы экспериментальных исследований авторов статей этой секции – плодородие солесодержащих почв, продуктивность перепеловодства в ЭкоКосмоДоме, особенности технологий культивирования грибов и различных растений (овощей, фруктов, лекарственных трав и др.) в условиях искусственной среды.

По логике развития научной мысли и решения глобальных проблем, охватываемых рецензируемым сборником, следующая секция могла быть посвящена производству собственно продуктов питания и различных напитков, специфичных в силу их производства и потребления в условиях закрытого биосферного пространства, отличной от земной гравитации и с учётом других особенностей функционирования ЭкоКосмоДома, но в максимальной степени отвечающих вкусовым, органолептическим и другим привычным для землян качествам.

Возможно, такая секция появится в проблематике будущих конференций. Тем более что рецензенту известны уже имеющиеся отдельные достижения научно-практической школы А.Э. Юницкого в этой области обеспечения нашей жизнедеятельности.

Завершает сборник секция «Социальные, правовые, политические и финансовые аспекты развития человеческой цивилизации на Земле и в космосе». Каждая статья этой секции в полной мере отвечает общему определению конференции «глобальная». При чтении статей этой секции возникает двоякое чувство. С одной стороны, поражают заслуживающие особого уважения масштабность поднимаемых вопросов, глубокая обеспокоенность нынешним состоянием дел в нашем доме под названием «планета Земля», а с другой стороны, угнетает осознание того непреодолимого пока тренда, ведущего всё человечество в цивилизационный тупик, а при неблагоприятном прохождении последней точки бифуркации – к ядерному апокалипсису. Но надежда на лучшее таких гигантов мысли и патриотов прогресса человечества, как А.Э. Юницкий и его соратники, не покидает их и в этих жестоких условиях. Более того, подвигает на проведение новых глобальных конференций и публикацию сборников, подобных рецензируемому, который, безусловно, достоин публикации в открытой печати в представленном виде.



А.Э. Юницкий и вся его команда единомышленников и соратников продолжают благородное дело, поддерживаемое участниками всех уже состоявшихся конференций (и не только ими) и которое, хочется верить, будет в своё время достойно оценено нашими прозревшими потомками.

Рецензия
Нитина Гадкари,

**доктора филологических наук,
магистра коммерции,
министра автомобильного транспорта
и шоссейных дорог Индии**



Авторы, на мой взгляд, продемонстрировали глубокий анализ сложнейших научных и инженерных проблем и предложили оригинальные концепции, имеющие большой потенциал для практической реализации и охватывающие ключевые аспекты предстоящей индустриализации ближнего космоса.

Центральным элементом сборника является исключительное научно-инженерное исследование Анатолия Юницкого – программа «ЭкоМир», которое пересматривает траекторию развития современной цивилизации.

नितिन गडकरी
NITIN GADKARI

मंत्री
सड़क परिवहन एवं राजमार्ग
भारत सरकार
Minister
Road Transport and Highways
Government of India

आज़ादी का अमृत महोत्सव

MESSAGE

I am delighted to glance through the Proceedings of the VII Global Conference on Near Space Industrialization. The authors, I feel, have demonstrated an in-depth analysis of the highly complex scientific and engineering challenges, and proposed original concepts with strong potential for practical implementation, addressing key aspects of the forthcoming industrialization of near-Earth space.

The centerpiece collection titled 'EcoSpace Program' by Anatoli Unitsky is an exceptional scientific and engineering study that redefines the trajectory of modern civilization's development. The author introduces the concept of spatial separation between the biosphere and techno-sphere, thereby mitigating anthropogenic environmental impact and opening new avenues for space exploration. Of particular significance is the detailed development of an all-planetary vehicle, designed to address the challenges of costly and environmentally hazardous rocket launches. The engineering calculations and feasibility studies presented in this work, suggest a high degree of technical viability. The concept of near-Earth space industrialization, including the relocation of harmful industries beyond Earth's biosphere, holds not only scientific merit but also profound socio-economic implications. The stated goal of this research is to usher in a new stage of technological evolution that will enable humanity to avert ecological catastrophe and achieve a new level of sustainable development. The study's in-depth analysis of energy efficiency, transportation logistics, and environmental safety further underscores its breadth and innovative nature.

A particularly noteworthy contribution is the research on the environmental impact of near-Earth space exploration, which, for the first time, comprehensively examines aerosol pollution, electromagnetic and light pollution, and the accumulation of space debris in the context of Earth's global ecological system. This approach aligns perfectly with the contemporary agenda of sustainable development and environmental security.

Another significant scientific contribution is the study of industrial waste management in the space industry. The author proposes utilizing Lagrangian points L4 and L5 for waste storage, along with its recycling into construction materials and elements of a space-based 'Noah's Ark' - a solution based on a well-founded analysis of space logistics and energy efficiency.

I feel special attention must be given to the studies on the motion control system and electromagnetic rotor suspension of the all-planetary vehicle. The proposed control system is an advanced hardware-software complex that ensures the optimal functioning of the rotor unit. In parallel, the development of hybrid electromagnetic rotor suspension technology marks a critical step toward the project's realization.

Page- 1 of 2

Room No. 501, Transport Bhawan, 1, Sansad Marg, New Delhi – 110 001, Tel.: 011-23710121, 23711252 (O), 23719023 (F),
E-mail: nitin.gadkari@nic.in; website-www.morth.nic.in

I am happy to note that the collection also provides an impressive depth of analysis regarding the biotechnological aspects of space exploration. It features research on closed-loop ecosystems, humus-based technologies, the application of *Chlorella vulgaris* in orbital habitats, and the development of autonomous biosphere complexes. These studies form a scientific foundation for the design of long-duration space missions and the creation of self-sustaining space settlements.

Beyond technical and environmental considerations, the authors have also explored the humanitarian and social dimensions of near-Earth space industrialization. Topics such as human psychological adaptation to prolonged stays in artificial environments, models for social organization in space societies, and the development of specialized educational programs for training next-generation personnel highlight a comprehensive approach to planning the future of space civilization.

This collection of scientific papers represents a valuable contribution to the advancement of science and technology. Its findings will serve as a foundation for future national and international programs dedicated to near-Earth space exploration.

I express my sincere admiration for the depth and scope of the presented research. Undoubtedly, this collection marks a significant milestone in the exploration of near-Earth space, laying a solid foundation for future engineering and scientific achievements aimed at safeguarding our planet.

Given the high level of scientific rigor, engineering feasibility, and societal importance of this research, I strongly recommend the publication of the Proceedings of the VII Global Conference on Near Space Industrialization and encourage the scientific community to engage with the groundbreaking concepts presented within.

(Nitin Gadkari)

New Delhi
11th February, 2025.

Room No. 501, Transport Bhawan, 1, Sansad Marg, New Delhi – 110 001, Tel.: 011-23710121, 23711252 (O), 23719023 (F)
E-mail: nitin.gadkari@nic.in; website-www.morth.nic.in

Рецензия Вайбхава Данге,



**магистра делового администрирования,
эксперта по вопросам
государственной политики
в области инфраструктуры,
экологически чистого
топлива и транспорта,
бывшего советника
Национального управления
автомобильных дорог Индии,
бывшего личного секретаря
министра автомобильного транспорта,
шоссейных дорог и судоходства Индии**

Материалы рецензируемого сборника научных трудов VII Глобальной конференции по индустриализации ближнего космоса демонстрируют высокий уровень и глубину анализа, охватывая почти все ключевые аспекты индустриализации околоземного пространства. В сборник вошли как статьи, которые пересматривают ранее обсуждавшиеся вопросы, так и новаторские работы, открывающие совершенно новые направления и требующие дальнейшего изучения.

...Представленные исследования имеют значительную научную и инженерную ценность, внося существенный вклад в развитие космических технологий.

Vaibhav Dange

Message

Dear colleagues,
The materials presented in the peer-reviewed collection of scientific papers from the VII Global Conference on Near Space Industrialization demonstrate a high level of analytical depth, covering almost all key aspects of near-Earth space industrialization. The collection includes research that revisits previously discussed issues as well as pioneering studies that introduce entirely new directions requiring further exploration. The performed calculations and proposed engineering solutions substantiate the feasibility of these projects, given contemporary materials and technological advancements.

Several studies address the pressing issue of space pollution and waste disposal, which remains one of the most critical challenges of our time. Particular attention is given to the environmental impact of the expanding space industry on near-Earth space, underscoring the urgent need for thorough investigation and the development of strategies to mitigate adverse ecological consequences. The exacerbation of environmental issues associated with space activities necessitates an integrated approach, fostering active research and innovative solutions from the scientific community. A significant contribution to understanding the scale of this problem and the imperative for its resolution is made in the work of **V. Y. Klyushnikov**. Furthermore, the reviewer highlights the work of **A. E. Unitsky**, who has proposed a novel concept for waste disposal within the space industry by utilizing regions of stable dynamic gravitational equilibrium, commonly referred to as **Lagrange points**. This approach opens new prospects for environmentally sustainable resource utilization in space, simultaneously addressing waste management and contributing to the advancement of space technologies, thereby ensuring their safer and more sustainable operation.

Additionally, the collection features studies on the **biotechnological processing of organic waste** in the context of establishing closed-loop ecosystems. This research is particularly relevant in the framework of sustainable development, as it offers effective waste management solutions applicable both on Earth and in space. The use of biotechnologies for waste recycling not only minimizes waste accumulation but also enables its conversion into valuable resources—an essential factor for long-duration space missions where resource availability is constrained. The findings presented in these papers pave the way for innovative approaches to sustainable space resource utilization and establish the foundation for a more ecologically responsible future,

vaibhav.dange@gmail.com @vaibhav_74 @vaibhav-dange74

Vaibhav Dange

both on our planet and beyond. However, further investigation and support from the scientific community, along with governmental agencies, are required to ensure the harmonious coexistence of technological progress and environmental conservation amid the rapid expansion of space activities.

Of particular significance is the research addressing another pressing environmental issue—**desertification**. This phenomenon affects millions of people globally, posing severe risks to food security, economic stability, and ecosystem sustainability. The authors present an **innovative methodology for the stepwise restoration of desertified sandy soils**, aimed at large-scale implementation in the agricultural sector, particularly in arid regions. The advancement of biotechnological solutions for desert reclamation could become a key instrument in combating soil degradation, yielding a profound positive impact on global ecosystem restoration and biodiversity preservation for future generations.

Another noteworthy topic explored in the collection is the concept of **civilizational panspermia**, which examines space-based mechanisms for the proliferation of life and the potential emergence of extraterrestrial engineering civilizations. Additionally, several studies focus on **the physiological and psychological aspects of prolonged human presence in space**, addressing critical issues related to health, habitability, and overall well-being in extraterrestrial environments.

Furthermore, the work of **O. M. Zaretsky** merits special attention, as it delves into the fundamental challenges of ensuring **public safety during the construction of a planetary-scale transport system**. The study highlights the necessity for **international collaboration and the establishment of dedicated security frameworks** to mitigate a wide range of risks in emergency scenarios.

In conclusion, this collection offers a **comprehensive and multidisciplinary analysis of contemporary issues related to the industrialization of near space**. The presented studies hold significant **scientific and engineering value**, making a substantial contribution to the development of space technologies. Given its relevance and depth, I highly recommend this collection for publication in open-access media.

With regards'

(Vaibhav Dange)

vaibhav.dange@gmail.com @vaibhav_74 @vaibhav-dange74

Рецензия Елены Ведуты,

доктора экономических наук, профессора, заведующей кафедрой стратегического планирования и экономической политики факультета государственного управления МГУ им. М.В. Ломоносова



Мечты о лучшей справедливой жизни и новой эпохе процветания нашей цивилизации претворяются в инженерных проектах незаурядного человека, опережающего своё время и задающего целый ряд направлений научному и техническому прогрессу, – Анатолия Эдуардовича Юницкого.

Практические решения для строительства биосферной цивилизации, представленные в этом сборнике, помогают науке двигаться вперёд, совершать новые открытия, делать невозможное возможным, т. е. реализовывать высокий потенциал человека-творца.

Мечты о лучшей справедливой жизни и новой эпохе процветания нашей цивилизации претворяются в инженерных проектах незаурядного человека, опережающего своё время и задающего целый ряд направлений научному и техническому прогрессу, – Анатолия Эдуардовича Юницкого.

Большое внимание в сборнике уделено экологии Земли и космоса. Бесспорно, эти вопросы требуют пристального внимания со стороны науки, так как качество людей и их жизни напрямую зависит от здоровья среды – природы, социума, космического пространства. В.Ю. Клюшников в статье «Глобальные экологические проблемы индустриализации околоземного космического пространства» сделал прогнозы загрязнения околоземного космического пространства в случае начала его индустриализации. А.Э. Юницкий раскрыл данную тему, предлагая в научной работе «Утилизация отходов космической индустрии» высокотехнологичные, не имеющие аналогов решения – через размещение части космических индустриальных отходов в определённых точках системы «Солнце – Земля», а также посредством использования подобных отходов в качестве сырья с целью изготовления экологически чистых строительных материалов для применения непосредственно на Земле.

Задуматься о будущем состоянии нашей планеты полезно прямо сейчас, в противном случае землян ждёт глобальная экологическая катастрофа. Сделать жизнь человека гармоничной и справедливой может только он сам. Для этого пришло время осваивать природные технологии и строить жизнь на Земле по законам природы, используя накопленный инженерный опыт и кибернетическое управление развитием мировой экономики. Синергия законов природы и инженерии нашла отражение в программе «ЭкоМир», которая в докладе А.Э. Юницкого и Е.О. Петрова представлена как «основа и горизонт трансформации доминирующей социально-экономической модели». В программе описаны конкретные шаги, которые должно сделать человечество на пути к ноосферному будущему по В.И. Вернадскому. Это будущее невозможно представить без знаний о космосе, так как именно Вселенная является глобальным домом человека, к ней и за её пределы направлены его помыслы и желание покорить неспокойные просторы галактик. Соответственно, стоит отметить статью Р.В. Хачатурова, в которой обозначены ключевые положения космологической теории Гипервселенной, на основании чего получены законы периодического изменения размера, скорости и ускорения расширения/сжатия нашей Вселенной в процессе её циклического движения по четырёхмерной гиперповерхности пятимерного тора Гипервселенной, объяснена природа гравитации и многомерного времени, рассмотрены современные данные о крупномасштабном распределении космического микроволнового фонового излучения.

Тема далёкого космоса и связанных с его освоением уровней развития человеческой цивилизации раскрывается в сборнике статьёй А.Э. Юницкого «Внеземные инженерные цивилизации и космическая цивилизационная панспермия». Создание на Земле космических ковчегов, несущих жизнь на другие планеты, может стать в ближайшее тысячелетие основным направлением, движущим научно-технический и биологический, социально-экономический и нравственно-духовный прогресс.

Космическое пространство – это не только далёкий космос и неизведанные вселенные. Его изучение начинается с исследований возможностей околоземной орбиты для улучшения жизни людей. С данной точки зрения интересна статья А.Э. Юницкого, В.Н. Гаранина, А.А. Боровика «Применение общепланетарного транспортного средства в качестве элемента единой энергетической системы Земли». ОТС Юницкого решает глобальную экономическую проблему всемирной доступности дешёвой и возобновляемой электроэнергии, что в эпоху тотальной цифровизации и качественно новой индустриализации является одним из ключевых факторов технологического развития.

Помимо поисков недорогих и неисчерпаемых источников энергии перед многими странами на нашей планете стоит вопрос продовольственной безопасности, доступа к качественной пище. Решение содержится в статье «Биотехнологическое восстановление пустынь как способ предотвращения продовольственных и энергетических проблем» под авторством А.Э. Юницкого, Н.С. Зыля, А.М. Павлюченко, М.М. Парфенчика. Восстановление плодородия почв, рекультивация признанных непригодными для ведения сельского хозяйства территорий без применения синтетических химических препаратов – вот истинная природная технология, аналогов которой на сегодняшний день не существует. Накормить каждого человека, тем самым обеспечив ему неотъемлемое право на жизнь, – это по-настоящему гуманитарная миссия, которую с научной и практической стороны выполняет команда А.Э. Юницкого, это залог мирного существования людей и их процветания.

Любые инженерные открытия и прорывные технологии для их претворения в жизнь требуют участия соответствующих профессионалов. Новый подход к подготовке специалистов для биосферной цивилизации предложили А.Ю. Потеряйко и Е.В. Фоменко. В статье «Подготовка кадров для биосферной цивилизации: социокультурный и кибернетический подход» они делают акцент на социокультурном компоненте воспитания и обучения подрастающего поколения. Однако главным инструментом для реализации любой кадровой политики является кибернетическое планирование экономики, основоположником которого в России стал Николай Иванович Ведута. Именно оно выводит социально-экономическое развитие страны на траекторию постоянного улучшения благосостояния людей, а следовательно, задаёт план и прогноз на актуальные для общества профессии, позволяет правильно посчитать количество ресурсов, требуемых для подготовки кадров нужного качества и количества.

Стоит отметить, что все статьи сборника не только носят научный теоретический и практический характер, но и являются частью большой философии под названием «биосферная цивилизация». Путь к ней может быть положен через кибернетическое управление экономикой, в котором локомотивом развития становится инженер – созидатель новых технологических способов производства, ускоряющих движение цивилизации вперёд в направлении улучшения жизни на Земле, культурного развития личности.



Уважаемые читатели!

Настоящий сборник научных трудов подготовлен по материалам VII Глобальной конференции по индустриализации ближнего космоса (13–14 сентября 2024 г., г. Марьина Горка, Беларусь).

Издание освещает итоги годовой деятельности учёных, конструкторов, инженеров, работающих над реализацией глобальной геокосмической программы uSpace. Каждый из представленных в сборнике проектов находит своё воплощение и тестируется на испытательных площадках России, Беларуси и Объединённых Арабских Эмиратов. Индустриализация ближнего космоса, перенос вредной промышленности на околоземную орбиту – это единственно возможный способ сохранения экологии планеты, а также решения социально-экономических проблем современности, призванный обеспечить достойное будущее грядущим поколениям. Только осуществив промышленное освоение околоземного пространства, мы сможем совершить полномасштабную экспансию в космос, открыть человеческой цивилизации доступ к неиссякаемым источникам ресурсов и создать базу для развития науки и высоких технологий.

Программа uSpace объединяет ведущие разработки в широком спектре научных дисциплин, описывающие различные аспекты пребывания человека за пределами Земли, уникальные исследования и ноу-хау в области космоса, инновационных видов транспорта, промышленности, биотехнологий, социологии и философии, представляющие интерес и ценность для научного сообщества всего мира.

Глобальный характер программы подразумевает возможность активного участия специалистов всех сфер и направлений, обеспечивает эффективную коммуникацию для совместной созидательной деятельности на благо всего человечества.

Каждый день мы приближаем к реализации самый амбициозный проект освоения космоса. Присоединиться к программе uSpace можно уже сейчас.

aet.space

Facebook

YouTube

Свои отзывы, пожелания и предложения направляйте, пожалуйста, по адресу: conf@ecospace.org.

Организационный комитет конференции,
редакционная коллегия сборника

Для заметок

Для заметок

Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: сб. науч. тр. VII Глобал. конф. по индустриализации ближ.
Б39 космоса, Марьина Горка, 13–14 сент. 2024 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2025. – 532 с.

ISBN 978-985-7296-58-3.

Статьи сборника отражают тематику и содержание докладов, представленных в рамках VII Глобальной конференции по индустриализации ближнего космоса. На конференции 2024 г. проанализированы пути решения глобальных проблем современности геокосмическими средствами; представлена новая редакция программы «ЭкоМир»; освещены вопросы утилизации отходов космической индустрии и происхождения «реликтового» излучения; озвучены конструктивные решения для транспортно-инфраструктурного геокосмического комплекса; рассмотрены аэродинамические характеристики транспортных средств при высокоскоростном движении в тоннеле; уделено внимание биологическим аспектам совершенствования экосистем на Земле и в космосе, включая использование биотехнологий для восстановления пустынь и переработки отходов; исследованы особенности обеспечения комфортного проживания в космических поселениях; обсуждены вопросы социального, политического и экономического характера в области индустриализации ближнего космоса, такие как влияние космоса на человека, подготовка кадров для биосферной цивилизации, проблемы безопасности и социально-экономическое развитие стран в контексте космической индустриализации.

Сборник содержит работы ведущих инженеров, изобретателей, учёных, представителей общественных организаций Беларуси, стран ближнего и дальнего зарубежья.

Издание предназначено для широкого круга специалистов, работающих в таких областях, как транспортные коммуникации, космические исследования, астрофизика, экология, биотехнологии, сотрудников научно-исследовательских организаций и лабораторий, а также для преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов учебных заведений.

Научное издание

БЕЗРАКЕТНАЯ ИНДУСТРИАЛИЗАЦИЯ БЛИЖНЕГО КОСМОСА: ПРОБЛЕМЫ, ИДЕИ, ПРОЕКТЫ

Сборник научных трудов VII Глобальной конференции по индустриализации ближнего космоса
(Марьина Горка, 13–14 сентября 2024 г.)

Редакционная коллегия

Главный редактор: Юницкий А.Э., доктор философии транспорта; ответственный редактор: Исаев Д.А.; научный координатор: Яблонская Е.И.; редакторы секций: Артюшевский С.В.; Шебзухов Ю.А.; Зыль Н.С.; Казакевич А.П.; Петров Е.О.; консультант по имиджевым стратегиям: Котишевская О.В.; редактор: Будивская Л.В.; научные консультанты: Цырлин М.И., к. т. н.; Климков А.Г., к. э. н.; Гаранин В.Н., к. т. н.

Рецензенты статей

Надирханов У.С., к. э. н., ТГТУ (Узбекистан); Бахтиярова Е.А., к. т. н., МУИТ (Казахстан); Сергиенко В.П., к. т. н, ИММС им. В.А. Белого НАН Беларуси; Сансызбай К.М., доктор философии (информационные системы), МУИТ (Казахстан); Раджибаев Д.О., д. т. н., ТГТУ (Узбекистан); Суюнбаев Ш.М., д. т. н., ТГТУ (Узбекистан); Сорокин Ю.А., к. т. н., ООО «ЮВР» (Беларусь); Раповец В.В., к. т. н., БГТУ (Беларусь); Коновалов С.В., д. т. н., ФГБОУ ВО «СибГИУ» (Россия); Зубовская И.В., к. вет. н., ИЭВ им. С.Н. Вышелесского (Беларусь); Христофорова Л.В., к. э. н., ОрИПС – филиал СамГУПС (Россия); Лукша О.В., к. х. н., ИОНХ НАН Беларуси; Кавальчук И.Н., д. т. н., Swinburne University of Technology (Австралия); Новиков С.П., к. т. н., БелГУТ (Беларусь); Дорощук О.В., к. б. н., ГУ «БелИСА» (Беларусь); Пантюхов О.Е., к. т. н., БелГУТ (Беларусь); Лаевская Е.В., к. т. н., ИОНХ НАН Беларуси; Прохоров В.Н., д. б. н., ИЭБ им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси; Субоч Ф.И., к. т. н., Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси.

Рецензенты сборника

Витязь П.А., академик НАН Беларуси, д. т. н., профессор, заслуженный деятель науки, начальник управления аэрокосмической деятельности НАН Беларуси, заместитель руководителя Агентства по космическим исследованиям НАН Беларуси;
Плескачевский Ю.М., член-корреспондент НАН Беларуси, д. т. н., профессор, заслуженный деятель науки Республики Беларусь;
Гадкари Н., д. ф. н., магистр коммерции, министр автомобильного транспорта и шоссейных дорог (Индия);
Данге В., магистр делового администрирования, эксперт по вопросам государственной политики в области инфраструктуры, экологически чистого топлива и транспорта (Индия);
Ведута Е.Н., д. э. н., профессор, заведующая кафедрой стратегического планирования и экономической политики факультета государственного управления МГУ им. М.В. Ломоносова (Россия).

Редакторы, корректоры: Будивская Л.В., Линевич Т.А., Яковлева К.В.
Компьютерная вёрстка: Горбунова Н.А., Луд И.И., Беспалова В.В.
Дизайн обложки: Скорикова Э.М.
Визуализации и иллюстрации: Сирый М.И., Шангин С.В., Пикта А.В., Семак А.М., Кузьмич В.А., Быкова О.Г., Скорикова Э.М.

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за достоверность приведённых в них сведений.
В процессе работы над изданием использованы материалы из открытых интернет-источников.

Подписано в печать 25.02.2025. Формат 60×84/8. Бумага мелованная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 61,85. Уч.-изд. 59,85. Тираж 700 экз. Заказ 189.

Издатель и полиграфическое исполнение: Государственное предприятие «СтройМедиаПроект».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий: № 1/43 от 03.10.2013, № 2/42 от 13.02.2014.
Ул. В. Хоружей, 13/61, 220123, г. Минск.

УДК 629.78
ББК 39.6я43
Б39
ISBN 978-985-7296-58-3

© ООО «Астроинженерные технологии», 2025
© ЗАО «Струнные технологии», 2025
© Юницкий А.Э., 2025
© Оформление. Государственное предприятие «СтройМедиаПроект», 2025