БЕЗРАКЕТНАЯ ИНДУСТРИАЛИЗАЦИЯ БЛИЖНЕГО КОСМОСА: ПРОБЛЕМЫ, ИДЕИ, ПРОЕКТЫ

2021

uSpace

ООО «Астроинженерные технологии»
ЗАО «Струнные технологии»

БЕЗРАКЕТНАЯ ИНДУСТРИАЛИЗАЦИЯ БЛИЖНЕГО КОСМОСА: ПРОБЛЕМЫ, ИДЕИ, ПРОЕКТЫ

Сборник материалов
IV международной научно-технической конференции
(18 сентября 2021 г., г. Марьина Горка)

Минск
«СтройМедиаПроект»
2022

Содержание

Вступительное слово А.Э. Юницкого,
председателя оргкомитета
IV международной научно-технической конференции
«Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты» 6

Приветственное слово Хуссейна Аль Махмуди,
генерального директора
Научно-исследовательского технологического и инновационного парка Шарджи
и Американского университета Шарджи 12

Приветственное слово Лембита Опика,
председателя Парламента Космического Государства Асгардия 14

Приветственное слово И.А. Шнуренко,
писателя, журналиста, сценариста,
автора книг на тему искусственного интеллекта, футурологии 16

Приветственное слово П.А. Хриенко,
вице-президента Крымской академии наук,
профессора кафедры государственного и муниципального управления
Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского 18

Цивилизационная ёмкость космического дома
по имени Планета Земля
Юницкий А.Э. 23

Новая переоценка ценностей
и становление транспланетарной аксиологии
Юницкий А.Э., Петров Е.О. 75

Градостроительная модель линейного типа
как выход из цивилизационного и урбанизационного тупиков
Юницкий А.Э., Давыдик М.М. 87

Экваториальный линейный город:
особенности строительства
Юницкий А.Э., Давыдик М.М. 101

Условия договора
между странами – участницами программы uSpace
Казакевич А.П. 117

Сценарное обоснование инвестиционного проекта
«Безракетная индустриализация ближнего космоса»
Юницкий А.Э., Бабаян А.В. 125

Отбор производств для их переноса в ближний космос
Юницкий А.Э., Климков А.Г. 137

Применение магнитного подвеса
в высокоскоростных транспортных системах
Лукша В.Л. 149

Возможности использования древесных экоматериалов
в конструктивных элементах
общепланетарного транспортного средства
Гаранин В.Н. 161

Композиционные материалы и технологии
для изготовления конструктивных элементов эстакады
общепланетарного транспортного средства
Шаповалов В.М., Бочкарёв Д.И., Подобед Д.Л. 169

Инновационные технологии неразрушающего контроля
и технической диагностики рельсов эстакады
общепланетарного транспортного средства
Сергиенко В.П., Бухаров С.Н., Кожушко В.В., Бочкарёв Д.И. 175

Динамические характеристики подводного плавучего тоннеля при движущихся нагрузках
Юницкий А.Э., Артюшевский С.В. 181

Проектирование и строительство промежуточных опор эстакады общепланетарного транспортного средства: проблемы и решения
Юницкий А.Э., Жарый С.А. 193

Защита общепланетарного транспортного средства от метеороидов и космического мусора
Юницкий А.Э., Пронкевич С.А., Овсянко В.А. 205

Метеоритная защита инфраструктуры ближнего космоса на примере ЭкоКосмоДома
Юницкий А.Э., Шаршов Р.А., Жарый С.А. 213

Эффект памяти формы в технологиях построения конструкций в условиях невесомости
Плескачевский Ю.М. 227

Космические солнечные электростанции как элементы распределённой энергосистемы
Кожанова Е.Р., Менян Ш. 233

Проблемы генетической изменчивости человека в замкнутой экосистеме
Юницкий А.Э., Пятакова Т.И., Налётов И.В. 249

Разработка универсального рациона питания жителей ЭкоКосмоДома
Зыль Н.С., Шахно Е.А. 259

Лекарственные и съедобные грибы в условиях замкнутой экосистемы: культивирование, свойства, применение
Юницкий А.Э., Костеневич А.А. 269

Лекарственные растения для ЭкоКосмоДома: подбор, условия выращивания, область применения
Шахно Е.А., Зыль Н.С. 283

Адаптационные процессы внутри модели замкнутой экосистемы
Налётов И.В., Заяц В.С. 293

Минимальная ассоциация организмов для плодородия почвы
Налётов И.В., Заяц В.С. 301

Плодородие и физико-химические показатели лёгких «космических» почвогрунтов для ЭкоКосмоДома
Юницкий А.Э., Костеневич А.А., Зыль Н.С., Парфенчик М.М., Конёк Д.А. 313

Роль метаногенных архебактерий в переработке органических отходов в условиях замкнутой экосистемы
Заяц В.С., Буглак П.А. 331

Подбор микроорганизмов, способных биодеградировать бурый уголь, с целью дальнейшего их применения в ЭкоКосмоДоме
Зыль Н.С., Налётов И.В., Заяц В.С. 341

Снижение экологической нагрузки на окружающую среду при использовании бурого угля за счёт его глубокой переработки
Юницкий А.Э., Василевич В.В., Арнаут С.А., Францкевич А.В. 351

Пищевая солнечная биоэнергетика
Юницкий А.Э., Василевич В.В. 359

Решение IV международной научно-технической конференции
«Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты» 373

Глоссарий: термины и определения, упоминаемые в сборнике 378

Рецензии на сборник материалов IV международной научно-технической конференции «Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты» 382

Вступительное слово А.Э. Юницкого,

председателя оргкомитета IV международной научно-технической конференции «Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты»

IV международная научно-техническая конференция «Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты», как и предыдущие конференции 2019 и 2020 гг., проходит в окружении живописной белорусской природы на территории Крестьянского (фермерского) хозяйства «Юницкого», более известного сегодня под брендом «ЭкоПарк «Акварель».

Здесь – на территории бывшего танкового полигона – всё стало ещё краше, так как полным ходом идут эксперименты по улучшению биогеоценоза, флоры и фауны окружающей живой среды. Мы используем только природные технологии (работаем без химических удобрений, ядохимикатов, генетической инженерии и генной модификации). Эти технологии применимы и в будущем для заселения орбитальных ЭкоКосмоДомов, где станут жить и трудиться миллионы человек, обслуживающих космическую составляющую земной индустрии.

Псевдопандемия COVID-19 и связанные с ней события, произошедшие в мире, заставили меня задуматься: а есть ли вообще будущее у земного техногенного человечества? И нужно ли выносить индустрию в космос, если завтра этой индустрии на Земле не будет, а сама человеческая популяция к тому времени сократится до так называемого «золотого миллиарда» и деградирует, т. е. последовательно, шаг за шагом, превратится в оцифрованных крепостных по обслуживанию «бриллиантового миллиона» согласно некоему плану, который вот уже в течение десятилетий реализуется «мировыми элитами»?

> **Земную человеческую цивилизацию можно не только спасти, но и установить драйвер её устойчивого развития на тысячелетия вперёд в соответствии с утверждённой на предыдущей конференции программой «ЭкоМир».**

Именно поэтому в рамках подготовки к конференции я провёл исследование, назвав его «Цивилизационная ёмкость космического дома по имени Планета Земля».

В процессе работы мною проанализированы около 100 планетарных, биосферных и цивилизационных параметров и критериев. В результате доклад получился очень объёмным. Для глубокого понимания сути моих рассуждений пришлось его визуализировать, сократив в разы и представив в виде полуторачасового научно-популярного фильма. В киноленту специально не включены усложняющие цифры, факты и выводы. Для того чтобы эта информация, касающаяся судеб всех людей на планете (в том числе и нас, здесь присутствующих, а также наших детей и внуков), была воспринята участниками конференции адекватно, предлагаю вашему вниманию некоторые пояснения.

Мировые псевдоэлиты, стремясь сохранить свои богатства и власть, намерены обнулить технократический вектор развития цивилизации, собственно, как и саму цивилизацию. Основа их изощрённого плана – утверждение о том, что цивилизация достигла пределов роста и хозяйственной ёмкости планеты. Значит, нам надлежит развенчать эти псевдонаучные мифы и показать альтернативу, которая не предполагает параноидальных форм сдерживания развития нашей цивилизации.

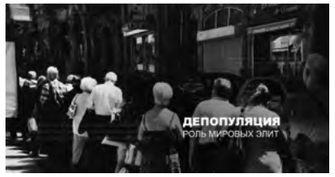
Критерии пределов хозяйственной ёмкости планеты

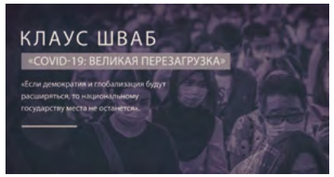
Земную человеческую цивилизацию можно не только спасти, но и установить драйвер её устойчивого развития на тысячелетия вперёд в соответствии с утверждённой на предыдущей конференции программой «ЭкоМир». Для этого требуется действовать в следующих направлениях.

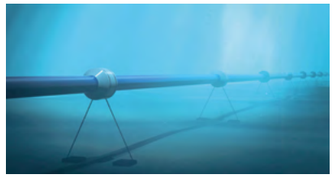
Во-первых, сельское хозяйство стоит локализовать в местах проживания людей, сделав его высокопродуктивным и полностью органическим.

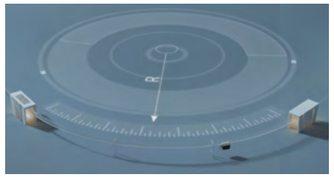
Во-вторых, следует перевести на второй уровень весь земной транспорт, чтобы он стал на порядок эффективнее, безопаснее и экологически чище; одновременно снизить в разы его стоимость и ресурсоёмкость.

Кадры из фильма «Цивилизационная перезагрузка: версия Юницкого»









В-третьих, земную энергетику важно сделать биосферной. Электростанции должны в качестве отхода своей работы производить не кислотные дожди, а живой гумус – основу плодородия любых земных почв.

В-четвёртых, жилую и производственную инфраструктуру необходимо разместить в линейных городах, которые займут сушу условно, поскольку на крышах их домов (в теплицах и оранжереях) зацветут сады. Там будут созданы природные биогеоценозы и биосферные экосистемы, даже на месте нынешних пустынь и вечной мерзлоты. Дома в линейных поселениях (а это 2 млрд зданий для 10 млрд человек) займут площадь в 200 000 км^2, или всего 1/750 часть земной суши.

Биосферные и индустриальные ресурсы

Дом, в котором живёт человечество, – это не вся планета Земля, а только небольшая часть её биосферы. Биосфера и техносфера заняли одну и ту же нишу в пространстве и во времени. Между ними происходит борьба за ресурсы – жизненные (биосферные) и технологические (техносферные).

Флора составляет 98 % всей земной биомассы. Главным для неё ресурсом и основным питанием является биогумус, который как конечный отход жизнедеятельности всех живых организмов накапливается в почве. Он содержит все необходимые для жизни химические элементы и соединения в виде нерастворимых органических гуматов. При этом в каждом килограмме природного гумуса работают порядка триллиона тружеников, образующих сложнейший симбиоз из нескольких десятков тысяч видов почвенных бактерий и микроорганизмов; без них нормальное существование земных биогеоценозов было бы невозможным.

Ключевые ресурсы для индустрии – это минеральное и энергетическое сырьё. Техносфера не способна создать собственные (аналогичные биосферным) замкнутые трофические цепи с триллионами микроскопических аналогов-роботов типа микроорганизмов в земной биосфере, функционирующих на атомном и молекулярном уровнях.

Именно поэтому любая техногенная цивилизация неизбежно погибнет, как только переработает в необходимую ей продукцию и промышленные отходы все невозобновляемые ресурсы, ограниченные размерами планеты. Земная цивилизация и планета Земля – не исключение. По ряду прогнозов, к критическому рубежу мы приблизимся уже в XXI в., если не будет изменён вектор индустриального развития человечества и экологически вредная часть земной промышленности не будет вынесена в ближний космос.

Безопасная ёмкость земной энергетики

Если в будущем мощность энергопотребления на душу населения увеличится до 5 кВт, то (с учётом предлагаемой биосферной оптимизации земной энергетики) подобный процесс не окажет негативного влияния на биосферу даже при росте населения планеты до 70 млрд человек. Для доказательства данного вывода стоит посмотреть на совершенно безопасные для экологии циклические колебания мощности солнечной энергии, падающей на Землю. Эти колебания в течение тысячелетий находятся в одних и тех же пределах – 350 млрд кВт.

Реликтовая солнечная биоэнергетика

Запасы горючих сланцев на планете оцениваются в 650 трлн тонн. При мощности потребления энергии в 5 кВт на человека имеющихся запасов сланцев достаточно, чтобы на протяжении 5000 лет на 100 % обеспечить энергией всё земное население в 10 млрд человек.

Сланцы, бурый уголь и торф могут быть использованы не столько для получения электричества, сколько для образования биогумуса. Всего 2 % реликтового биогумуса в почве – и даже песок пустыни станет плодородным. Из сланцев, бурого угля и торфа можно произвести около 500 трлн тонн биогумуса. Такой объём оптимален для того, чтобы превратить в чернозёмные сельхозугодья территории, размер которых примерно в 100 раз превышает площадь всей земной суши. Значит, даже если население ЭкоКосмоДомов достигнет 10 млрд человек, то продовольственная безопасность всё равно будет гарантирована – родная планета способна прокормить всех в течение 50 000 лет, поставляя биогумус в космос.

Безопасная карбоновая ёмкость земной атмосферы

Реликтовая солнечная биоэнергетика предполагает выброс углекислого газа в атмосферу. Однако возникает вопрос: какое количество CO_2 безопасно для жизни на Земле?

Исследования показали, что в земной атмосфере текущий уровень углекислого газа, требуемого для эффективного фотосинтеза, в три раза ниже оптимального. Об этом свидетельствуют данные о содержании CO_2 в коммерческих теплицах, где наилучшая урожайность отмечается при концентрации в 0,12 % и более. Объём CO_2 в земной атмосфере сегодня составляет около 0,038 %.

Углекислый газ – незаменимый атмосферный ресурс для всей флоры нашей планеты, он способствует росту лесов, повышает урожайность сельхозкультур, ускоряет рост рыбы, а также моллюсков и кораллов в морях и океанах. Кроме того, CO_2 увеличивает выработку флорой ещё одного наиважнейшего отхода планетарного гомеостаза – кислорода, необходимого как для нашего дыхания, так и для существования созданной нами индустрии.

Таким образом, современный мировой уровень индустриальных выбросов CO_2 – порядка 30 млрд тонн в год (т. е. около 1 % от его содержания в атмосфере) – совершенно безопасен для биосферы и не только не является избыточным, но даже не восполняет биосферный карбоновый дефицит в земной атмосфере.

Пищевая ёмкость биосферы и расселение людей

Основа производства пищи на планете – живая плодородная почва. Человек съедает в год примерно 700 кг продуктов. В результате обмена веществ такую же массу отходов человек выделяет в окружающую среду, в первую очередь через свою пищеварительную систему. Если отходы, преобразованные в биогумус, внести обратно в почву, на которой был выращен урожай, то тем самым мы восстановим природный круговорот живого вещества, нарушенный современными городами с их традиционной канализационной системой. Ведь в настоящее время пища растёт в одном месте, а отходы образуются совершенно в другом – за тысячи километров.

Следовательно, характер расселения людей на планете должен быть изменён в сторону оптимизации. Города и дороги уже заняли огромные пространства: под асфальтом и шпалами «похоронены» территории, превышающие в шесть раз площадь Беларуси. А один мегаполис – китайский промышленный город Чунцин – уже превзошёл по своим размерам Австрию, захватив у природы более 80 000 км^2 земли.

Альтернативой современным мегаполисам станут линейные города, не только не отнимающие под застройку плодородную землю, но и дополнительно создающие её (в частности, через солнечную биоэнергетику, побочным отходом которой является высокоплодородный биогумус).

Крыши «горизонтальных небоскрёбов» в линейном городе будут выполнены в виде стеклянных теплиц. Такое решение позволит на крыше культивировать овощи и фрукты; на цокольном этаже – разводить морскую и пресноводную рыбу, морепродукты, а также выращивать грибы, птицу и другую продукцию. Это значит: каждый дом будет способен круглогодично обеспечивать органической пищей живущих в нём людей.

Биологически безопасная ёмкость биосферы и новый социоэволюционный уровень развития человечества

Когда на планете будут жить и трудиться 10 млрд людей, масса всего человечества составит лишь 1/20 000 общей земной биомассы. Такое соотношение не приведёт к глобальным проблемам, если далее мы перестанем бороться с Живой Природой. Проблемы создаёт не само население Земли как биомасса, а техносфера. Она, как и раковая клетка, уничтожает своего хозяина, в данном случае – человечество и, соответственно, биосферу, которые занимают ту же пространственную нишу. Технократический вектор развития направлен в тупик не из-за человечества как такового, а из-за несовершенства устаревших инженерных технологий, не отвечающих цивилизационным требованиям наших дней.

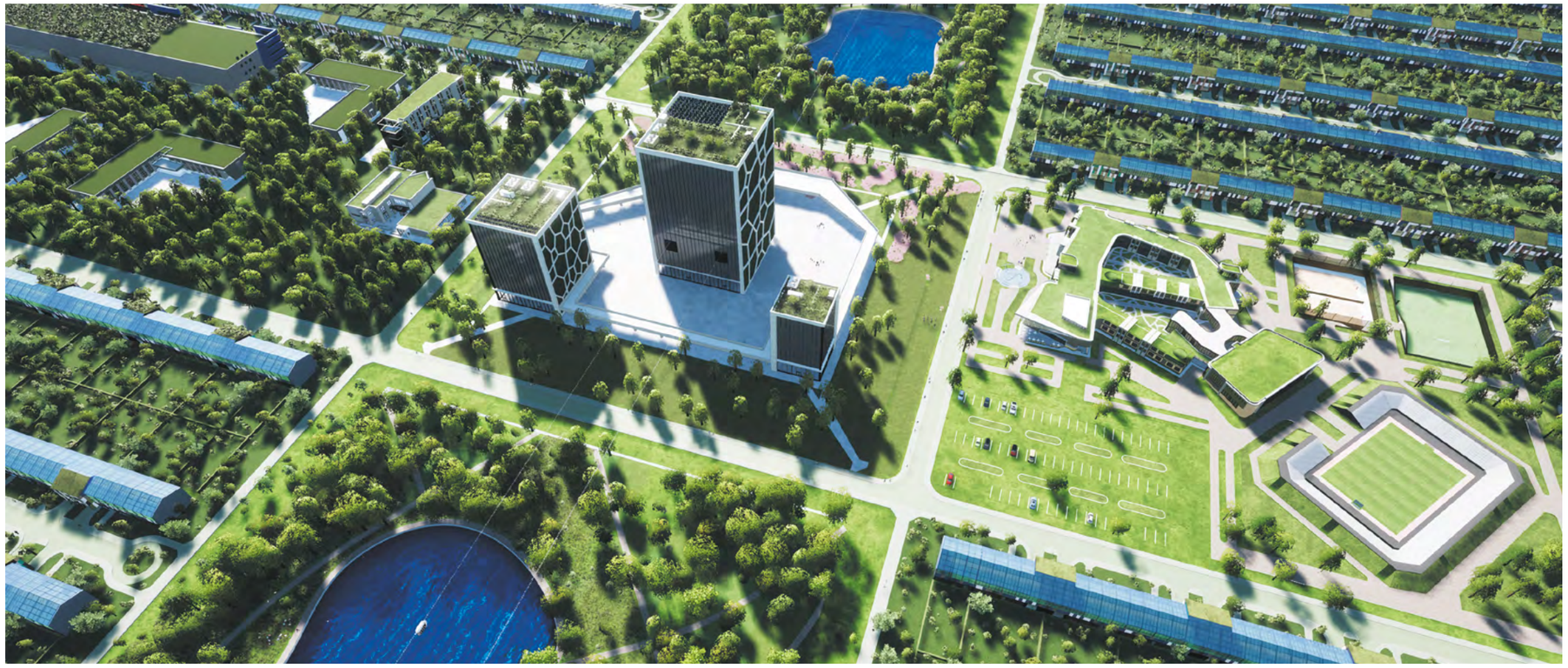
Основную причину глобальных проблем я вижу в том, что развитие цивилизации происходит неразумно. Вместе с тем мы достаточно умны. Однако ум и разум – это различные проявления интеллекта. Разум отвечает за духовность – самопознание, саморазвитие, чувства, нравственность, этику, культуру, совершенствование отношений людей и природы.

Настоящий прогресс человечества должен заключаться не столько в индустриальных достижениях, сколько в прогрессе человечности в людях. Разумная цивилизация способна грамотно распорядиться ограниченными земными ресурсами. Она сумеет найти решения, как вынести индустрию из живой биосферы в мёртвый космос. Она должна успеть осуществить эту важную миссию до наступления точки цивилизационного невозврата, когда что-то изменить на нашей планете уже будет слишком поздно.

Нужно реализовать цивилизационную перезагрузку. Стартовой площадкой станет строительство первых адресных проектов в рамках создания принципиально новой общепланетарной экоинфраструктуры – рельсо-струнного транспорта «второго уровня», линейных экогородов на первом уровне и реликтовых солнечных экобиоэлектростанций, промышленным отходом которых будет плодородный биогумус.

Вышеприведённый анализ показывает, что на нашей планете сможет комфортно и безопасно жить всё будущее человечество – порядка 10 млрд человек. Нам надо начать мыслить и действовать в космических масштабах. К середине XXI в. следует осуществить широкомасштабную индустриализацию ближнего космоса. Ресурсов Солнечной системы достаточно для того, чтобы удовлетворить все технологические запросы человечества на миллионы лет вперёд. Необходимо наконец избрать биосферный путь устойчивого развития нашей техногенной цивилизации в логике «Земля – для жизни. Космос – для индустрии».

Исходя из этих жизнеутверждающих цивилизационных целей, задач и программ, я объявляю: IV международная научно-техническая конференция по безракетной индустриализации ближнего космоса, которая, безусловно, войдёт в историю, – открыта.



Приветственное слово Хуссейна Аль Махмуди,

генерального директора Научно-исследовательского технологического и инновационного парка Шарджи и Американского университета Шарджи

Леди и джентльмены! Сегодня мы участвуем в работе IV международной научно-технической конференции «Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты». Мне приятно разделить с вами это знаменательное событие, посвящённое освоению космического пространства.

На данном мероприятии я представляю Научно-исследовательский технологический и инновационный парк Шарджи (SRTIP), расположенный в Объединённых Арабских Эмиратах. Хочу сказать, что горжусь сотрудничеством с доктором Анатолием Юницким, потому что вместе мы открываем новые знания, возможности и горизонты. Меня вдохновляет его пример: этот учёный решает важнейшую задачу – разрабатывает технологии нового поколения, которые помогут человечеству преодолеть многие проблемы, в том числе касающиеся транспортного сообщения.

Считаю, что сейчас самое подходящее время для того, чтобы направить научный и технический потенциал на безракетный путь освоения космоса. Мы, люди, обязаны сделать всё, чтобы наша Вселенная была более устойчивой и защищённой. Уверен, что изучение космоса поможет приблизиться к этой цели, поспособствует стабилизации экологической обстановки и экономической ситуации, а также откроет множество возможностей для бизнеса.

Правительство ОАЭ определяет космос как стратегическую часть развития: моя страна направила свою миссию на Марс; у нас плодотворно функционирует космическое агентство; мы занимаемся разработкой специализированного оборудования, которое позволит продолжить исследование космических просторов. В SRTIP создана единая платформа, доступная всему региону Ближнего Востока и Северной Африки. Её предназначение – поддержка компаний, которые готовы вложить средства в индустриализацию космоса; выявление учебных заведений, которые хотят получить доступ к инвестициям и рынкам; обеспечение работоспособности организаций и физических лиц, которые предлагают гениальные идеи. Приглашаем стать частью нашей системы.

Обязанность человечества – сохранить для будущих поколений наш земной мир, сделав его лучше и красочнее. Вот почему сегодняшнее мероприятие – ещё один шаг на пути к спасению планеты и освоению космоса.

Конференция, уже который год проходящая на гостеприимной белорусской земле, объединила людей, увлечённых такой великой идеей. Буду рад видеть вас в Научно-исследовательском технологическом и инновационном парке Шарджи.

Считаю, что сейчас самое подходящее время для того, чтобы направить научный и технический потенциал на безракетный путь освоения космоса. Мы, люди, обязаны сделать всё, чтобы наша Вселенная была более устойчивой и защищённой.

Приветственное слово Лембита Опика,

председателя Парламента Космического Государства Асгардия

Уважаемые коллеги, мне посчастливилось во второй раз стать участником международной научно-технической конференции «Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты». Как председатель Парламента первого в мире Космического Государства Асгардия, я разделяю ваши эмоции и устремления. Нынешнее мероприятие – отличная возможность взглянуть с технической точки зрения на освоение космоса.

У меня не раз возникал вопрос: «Каким же образом индустриализация космического пространства может помочь в решении глобальных экологических проблем?» На эту тему разворачивалось множество политических дебатов. Люди всерьёз озабочены влиянием человека на окружающую среду. Более того, по прошествии нескольких десятилетий и столетий мы будем обязаны найти способы освоения космоса, поскольку сложно предсказать темпы роста населения Земли. Уже сегодня всем понятно, что ракеты не способны обеспечить необходимых масштабов. Вот почему безракетное освоение ближнего космоса так важно, ведь по-другому невозможно создать постоянную и самодостаточную космическую среду обитания. Именно поэтому следует отойти от ракет и использовать новые технологии, которые позволят сделать космос финансово, логистически и экологически доступным в промышленном отношении.

Я разделяю видение доктора Анатолия Юницкого уже много времени, с того момента, как впервые услышал о его деятельности. Разработанное им общепланетарное транспортное средство (ОТС) – уникальное изобретение, как концептуально, так и технически. ОТС – тот самый шанс, благодаря использованию которого человечество может выбрать надёжный путь заселения космического пространства и, самое главное, спасения и защиты родной планеты. Индустриализация космоса с его неисчерпаемыми ресурсами (сырьевыми, энергетическими, пространственными, технологическими) и параллельное решение экологических проблем на Земле – это единственно верный вектор развития человеческой цивилизации.

Считайте меня частью своей команды. А я считаю своим долгом способствовать объединению заинтересованного сообщества, т. е. всех, кто разделяет наше видение в направлении безракетного освоения космоса.

Индустриализация космоса с его неисчерпаемыми ресурсами (сырьевыми, энергетическими, пространственными, технологическими) и параллельное решение экологических проблем на Земле – это единственно верный вектор развития человеческой цивилизации.

Приветственное слово И.А. Шнуренко,

**писателя, журналиста, сценариста,
автора книг на тему искусственного интеллекта, футурологии**

Возникающие всё чаще погодные аномалии наводят на мысль, что природа пытается опровергнуть представление людей о ней, противится их воздействию. В то же время некоторые концепции Всемирного экономического форума подразумевают манипуляции с природой и человеком, хотят изменить сущность *Homo sapiens*; более того, генетически модифицировать его. На мой взгляд, это тупиковый путь.

Происходит радикальное упрощение глобальной системы, наблюдается гипернормализация неестественного положения вещей. Манипулятивными техниками нам внушают, что мегаполисы – это нормально, что так и нужно жить, что развитие заключается не в улучшении качества, а в наращивании количества. В Москве, например, считается достижением запуск определённого числа станций метро – строится одно кольцо за другим. Однако такое нагромождение инфраструктуры на самом деле означает: цивилизация лишилась цели и центра разумного приложения своих усилий и энергии. Стержнем же развития должен стать инженер-философ, чьи взгляды и знания позволят избежать многих проблем.

Немецкий мыслитель М. Хайдеггер, автор понятия technoscience, считал, что неразрывна взаимосвязь технологии и науки. Разбивая всё на части, мы неизбежно проигрываем и идём по ошибочному пути. Нужно вернуть исконное значение технологиям: греческое слово «технэ» (именно об этом писал Хайдеггер) включает в себя не только науку, но и искусство. Человек, т. е. инженер, также состоит в данной цепочке связей, он должен чувствовать глубинные принципы взаимоотношений искусства, науки, технологий.

> **Новый мир, который мы хотели бы построить, требует свободных личностей: не зомбированных и подверженных манипуляциям, а близких к понятию инженера.**

Устремляя взгляды в ночное небо, люди нередко задавались вопросом о том, что же находится за тем пределом, за который, как считалось, невозможно попасть; они смотрели в космос с надеждой, верой в будущее. Сейчас, к сожалению, происходит опасное развитие космических технологий, в результате чего ночное небо может вызывать страх. Космический интернет, навязываемый нам Всемирным экономическим форумом, доктором К. Швабом и другими подобными экспертами в качестве одной из ключевых технологий четвёртой промышленной революции, – это интернет тел, интернет вещей, а в данной концепции человек рассматривается как объект, тотально контролируемый из космоса.

Ракеты десятками доставляют в космос спутники, которых в околоземном пространстве уже сотни, а будут тысячи, ведь в планах ближайших лет – полноценное функционирование Starlink и OneWeb, запуск других спутниковых систем. Их предназначение – обеспечение так называемой связи, чтобы каждый из нас находился под контролем 24 часа в сутки семь дней в неделю, где бы ни был: в пустыне или в большом городе. Идёт радикальное упрощение человека.

Говоря о системном подходе, мы должны понимать, что только объединение биосферы и людей, техносферы и technoscience в один организм может сделать наше будущее достойным. Наблюдаемое сегодня упрощение системы взаимосвязей вызвано неправильным её пониманием – как некой механической или в лучшем случае биологической структуры, которая настроена на пожирание.

Придерживаясь данной позиции, компании и банки уничтожали Землю, использовали её как ресурс и произвели огромное количество отходов. Теперь такие организации якобы перевоплотились, но поверить в это невозможно, потому что их принципы работы остались прежними. А ведь по-настоящему системный подход должен быть мультиагентным, предполагающим интеграцию разрозненных составляющих в единое целое.

Новый мир, который мы хотели бы построить, требует свободных личностей: не зомбированных и подверженных манипуляциям, а близких к понятию инженера, о котором я говорил. Нужно повышать уровень образования, заниматься просвещением, воспитывать достойных людей для построения лучшего общества и лучшего будущего для всего человечества, в том числе в космосе.

Приветственное слово П.А. Хриенко,

**вице-президента Крымской академии наук,
профессора кафедры государственного и муниципального управления
Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского**

Дорогие коллеги, благодарю вас, а также моего друга и товарища Анатолия Эдуардовича Юницкого за предоставленную возможность участвовать в данной конференции. Конечно, мы, крымчане, с удовольствием откликнулись на полученное приглашение.

Крым считается особым регионом, потому что находится в уникальном месте – на 48-й параллели. Здесь рождалось и реализовывалось немало великих идей. Здесь работали многие учёные, предопределившие развитие науки, – Д.И. Менделеев, В.И. Вернадский, К.И. Щёлкин, И.В. Курчатов. Здесь расположена Крымская астрофизическая обсерватория – один из международных центров наблюдения за космическим пространством, а также функционирует Центр дальней космической связи, деятельность которого сосредоточена не только на изучении дальнего космоса, но и на проведении контроля за сейсмическими и другими геофизическими явлениями. В трудах крымских учёных зачастую исследовался потенциал космической сферы. Уверен, именно поэтому на Крымском полуострове оценили инновационные идеи инженера А.Э. Юницкого по достоинству – как самые необходимые человечеству. В частности, научное сообщество, которое я сейчас представляю, на состоявшемся весной 2021 г. общем собрании Крымской академии наук встретило аплодисментами информацию о ваших достижениях, чрезвычайно значимых в настоящее время.

**Хотелось бы подчеркнуть:
здесь и сейчас мы закладываем
основу будущей
процветающей жизни;
возможно, не для нас,
но уж точно для наших потомков.**

Более того, цивилизационные процессы делают эти идеи особо весомыми.

Несомненна важность освоения ближнего космоса. Эта актуальная задача обусловлена глобальными событиями, протекающими в современном мире. Каждому очевидно, что сегодня наблюдается переход человечества к новой общественно-экономической формации, интенсивно идёт создание нового уклада жизни, о чём говорят представители не только научного сообщества, но и многих правящих элит.

В данной связи наиболее показательны следующие эпизоды.

Все помнят мировой, прежде всего финансово-экономический, кризис 2008 г. Страны находились в состоянии поиска оптимального выхода из создавшегося положения. По инициативе Генерального секретаря Организации Объединённых Наций для анализа возникшей проблемы были собраны 20 ведущих учёных-экономистов, которым предстояло решить, возможно ли преодолеть кризис и каким образом. Итогом их совместного труда стал доклад нобелевского лауреата Дж. Стиглица. Во введении данной исследовательской работы давалась оценка сложившейся критической ситуации; в качестве основного вывода значилось: неолиберальная модель экономики завершила свой исторический этап развития. Вместе с тем эксперты не смогли определить пути преодоления существующего и всё углубляющегося кризиса. Что делать дальше? Ответа не последовало.

К месту вспомнить идеолога неолиберальной политической системы З. Бжезинского, безоговорочно считавшего: западная цивилизация – это лучшее, что создало человечество. Однако в последнем его труде – «Стратегический взгляд: Америка и глобальный кризис» – говорится уже об «умирающем Западе» и даже «закате американской мечты». Перед кончиной политолог пришёл к выводу: «То, чем я занимался всю жизнь, ушло в прошлое. Нужно искать новый алгоритм политической институализации человечества».

Политический экономист Ф. Фукуяма в своей книге «Конец истории и последний человек» (1992), опираясь исключительно на количественные методы, пытался доказать, что Америка и западная модель развития победили. Спустя время Фукуяма существенно пересмотрел собственную точку зрения и в начале третьего тысячелетия издал ещё одну работу – «Сильное государство: управление и мировой порядок в XXI веке». По сути, это своего рода покаяние – учёный убеждал читателя: ни демократия (власть большинства), ни диктатура (власть меньшинства) не смогут спасти

человечество; панацеей призваны стать только рационально и научно обоснованные методы, адекватно воспринимающие и отражающие процессы развития. То есть речь уже шла о кризисе современной цивилизации и необходимости усиления роли и значения государства в решении возникающих проблем.

Как видим, мир пребывает в противоречивом состоянии. Всё более понятно, что для преодоления кризиса требуются инновационные идеи, созданные на научном фундаменте. В то же время в зарубежной и отечественной научной литературе, заявлениях политических лидеров содержится лишь констатация существующего цивилизационного упадка. Выход из него, как правило, не обозначается или представляется на основе консервативных принципов. В частности, когда было такое, чтобы третье место на президентских выборах в США занял человек с социалистическими убеждениями – Б. Сандерс? Не случайно книга американского политика и публициста П. Бьюкенена «Смерть Запада», ставшая в последние годы самой известной в США, утверждает: нас спасёт социализм.

Я же считаю, что не в социализме и не в капитализме заключается спасение человечества – оно зиждется на рациональных системных технологиях инженера А.Э. Юницкого. В контексте сегодняшних поисков путей преодоления цивилизационного кризиса ярко выделяется разработанная белорусским учёным концептуальная модель освоения ближнего космоса – главное звено, которое способно повлиять на решение многих стоящих перед людьми социально-экономических, политических и гуманитарных вопросов. Более того, предложенный А.Э. Юницким антикризисный проект является философски аргументированным, сводящим биоценоз, социоценоз и техноценоз в единый алгоритм дальнейшего развития.

Хотелось бы подчеркнуть: здесь и сейчас мы закладываем основу будущей процветающей жизни; возможно, не для нас, но уж точно для наших потомков. Благодарю Анатолия Эдуардовича за то, что он первый: быть первым сложнее всего. Благодарю тех, кто поддерживает первопроходца. Уверен, как бы ни было тяжело в пути, это дело непременно увенчается успехом. Успех обязательно приходит к настойчивым, упорным и целеустремлённым.

УДК 572.02

Цивилизационная ёмкость космического дома по имени Планета Земля

Юницкий А.Э. ООО «Астроинженерные технологии», г. Минск, Беларусь
ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Беларусь

Вопросы глобальных проблем современности и устойчивого развития нашей земной техногенной человеческой цивилизации всегда волновали прогрессивные умы. Индустриальный (инженерный) путь развития человечества насчитывает около 2 млн лет: от изобретения древними инженерами каменных орудий труда и огня, с помощью которого стали готовить пищу, до нынешних дней, когда изобрели ракету-носитель и искусственный интеллект. И нам теперь предлагается в качестве альтернативы грядущей гибели человеческой цивилизации в своём родном доме – на планете Земля, где якобы достигнуты пределы роста и несущая ёмкость биосферы, – освоить чужой и далёкий Марс. Мы должны построить новый дом там, где нет биосферы земного типа и где люди погибнут по историческим меркам мгновенно. Либо предлагается сократить численность земной цивилизации до «золотого миллиарда», чтобы оставшимся в живых хватило ресурсов на безбедную жизнь в обозримом будущем.

Автор предлагает иную альтернативу – осуществить неракетную индустриализацию ближнего космоса, закрыв экологически опасную часть земной промышленности, а планету преобразовать в цветущий сад. Для этого необходимо заменить неэффективный транспорт «первого уровня» на электрический транспорт «второго уровня» и построить на планете транспортно-инфраструктурную сеть uNet протяжённостью порядка 10 млн км; перевести мировую энергетику на реликтовую солнечную биоэнергетику, «отходами» работы которой станут овощи и фрукты;

построить вдоль сети uNet линейные города uCity общей протяжённостью около 5 млн км, вписанные в Живую Природу, в которых с комфортом и безопасно на тысячелетия вперёд будет жить и трудиться всё будущее земное человечество – порядка 10 млрд человек.

Для достижения этих глобальных целей необходимо измениться и самому человечеству – оно должно подняться на новый уровень: осуществить переход из общества технопотребителей в социотехногенную цивилизацию.

Ключевые слова:
биосфера, техносфера, техногенная человеческая цивилизация, глобальные проблемы, социум, хозяйственная ёмкость биосферы, пределы роста, реликтовая солнечная биоэнергетика (РСБЭ), Струнный транспорт Юницкого (ЮСТ; англ. – uST), общепланетарное транспортное средство (ОТС), линейный город, духовное развитие, «Земля – для жизни. Космос – для индустрии».

Введение

Человек выбрал технологический путь цивилизационного развития около 2 млн лет назад, когда создал свои первые инженерные технологии, в том числе зажёг свой первый костёр и стал готовить пищу на огне [1].

На современном этапе развития инженерных технологий «Техносфера 1.5» (третья четверть XX в. – настоящее время [2]) появилось много мифов, связанных с бурным развитием земной индустрии. Глобальное потепление и геоклиматическая катастрофа; критическая нехватка ресурсов и повсеместное загрязнение почвы, воды и воздуха; интенсивное разрушение озонового слоя и чрезмерная опасность пандемий; существенное превышение пределов роста и «хозяйственной ёмкости биосферы»; недопустимое перенаселение планеты и много-много других цивилизационных «страшилок» – одна ужаснее другой.

Именно поэтому основной целью настоящего исследования стало стремление предостеречь людей от нависшей над всеми нами опасности и показать технологический путь к цивилизационному выходу из сложившегося на планете критического положения. При этом определяющий движущий мотив для автора – невозможность дальнейшего молчания и покорного смирения по отношению к тем деструктивным изменениям, которые происходят сегодня в мире, в ситуации, когда под реальной угрозой оказались не только практически все базовые ценности нашей цивилизации, но и само наше будущее.

Всему современному человечеству фактически объявлена гибридная война путём нейролингвистического перепрограммирования с существующего цивилизационного вектора «Технологический и интеллектуальный прогресс» на деструктивный вектор «Личностный, социальный и цивилизационный суицид». Эта война ведётся с помощью цифровых информационных инструментов и СМИ, которые принцип «Правда важнее всего» сменили на более монетизируемый «Служу хозяину».

Этот план осуществляется в интересах настоящих хозяев денег: олигархов-глобалистов, так называемой «глубинной власти», – тех, кто скрыто управляет нашим миром через мощные триллионнодолларовые финансовые рычаги. Подготовка к этой войне, спусковым крючком которой стала лжепандемия 2020 г., заняла не одно десятилетие, и даже не одно столетие, начиная с «мальтузианской ловушки» священника Томаса Мальтуса [3] – его работы по ограничению рождаемости, в том числе путём принудительной стерилизации, получили название «Проповедь геноцида».

Нас, обычных людей, всё ещё могут защитить наши государства. Для этого в их распоряжении есть всё необходимое. Ниже достаточно подробно будет рассказано об инновациях, при помощи которых возможно:

- интенсифицировать развитие нашей технократической цивилизации в созидательном направлении;
- решить все экологические и социальные проблемы без ущерба для планеты и её биосферы;
- повысить уровень жизни в любой стране и человечества в целом;
- дать всем нам шанс на лучшее будущее – более безопасное, более комфортное и более человечное.

Однако сначала необходимо сказать несколько слов об античеловечных планах, которые озвучивают так называемые «мировые элиты».

Проблема

Наша общечеловеческая цивилизация в очередной раз зашла в тупик. Ранее во всех подобных случаях это выливалось в войны, экономические и социальные кризисы. Рушились империи, перекраивалась карта мира. Затем, на руинах, государства кое-как восстанавливали общественно-политическую жизнь, при этом накапливая проблемы и противоречия так, что каждое новое потрясение было ужаснее предыдущего. Из раза в раз человечество наступало на одни и те же социально-экономические «грабли».

Теперь мы столкнулись с коронавирусом. Как бы ни старались преподнести его нам в качестве некоего мегастихийного бедствия – всем очевидно, что это не так.

Во-первых, ясно, что пандемия – последствие разрушительного воздействия человека на природу, безмерного и безумного потребления. Далеко ходить за примерами ни к чему. Считается, что вирус перешёл к людям от животных. Вину, по одной из версий, приписывают панголинам. У китайских гурманов – сытых и даже пресыщенных людей – на этих животных есть высокий спрос. Из-за этого панголины оказались на грани вымирания. Речь давно уже не идёт о голоде. Мясо панголина – предмет роскоши, элемент элитарного потребления.

Точно так же из-за человека на грани полного исчезновения находятся ещё тысячи (если не миллионы) других видов животных, растений, микроорганизмов. Примерно три вида живых существ исчезают с Земли каждый час. Так что планета просто защищается от агрессивных людей. И пандемии будущего станут куда более страшными, чем нынешняя псевдопандемия коронавируса.

Во-вторых, наш образ жизни наряду с оказываемым на природу гнётом делает человечество основным виновником возникновения пандемий:

- мы стали массово селиться в городах, где огромное количество людей находится в тесном контакте друг с другом. При этом города обслуживаются устаревшими – можно сказать, древними – транспортными системами, в которых городские, междугородные и международные перевозки предполагают большие скопления людей в общественных местах, транспортных средствах, на вокзалах и в аэропортах;
- неправильное питание и нездоровый образ жизни (физической, духовной и нравственной) ослабляют и убивают наш иммунитет. А ведь иммунитет – это главное «лекарство», которое не способно заменить ни одно из придуманных человеком лекарственных средств, в том числе принимаемых в виде вакцин и прививок.

Несложно заметить, что эти же две основные причины являются источником наиболее масштабных потрясений последних столетий. Все войны и экономические проблемы XX в. возникли из-за скученности людей и неуёмного желания потреблять как можно больше, в результате чего обостряется борьба за ресурсы и сферы влияния. Эта борьба – один из базовых элементов капиталистической системы, построенной на прибыли и вокруг прибыли.

В целом капиталистическая система предполагает необходимость и неизбежность кризисов, которые с каждым разом приводят ко всё более катастрофическим последствиям. В этом сходится большинство экспертов-экономистов. На сегодняшний день знание об этом получило повсеместное распространение, вплоть до уровня обывателя. Соответственно, возникает запрос на реформу капитализма, поскольку альтернативные модели (например, социализм) глобальными элитами не принимаются. Ведь это капиталистические элиты. Они не могут отказаться от самих себя.

Так как кризисы в основном связываются экспертами с перепроизводством продукции, то избежать их можно, только изменив характер производства и потребления. Прежде чем исследовать, как именно элиты намерены обустроить новый мир, необходимо разобраться в том, как всё это происходит сейчас. Только в самых общих чертах.

Предприятия изготавливают товар, платят работникам за их труд, а добавочную стоимость оставляют себе, чтобы затем израсходовать её на развитие производства, собственные нужды и нужды государства в виде налогов. При этом цель любого производства – увеличение прибыли, что достигается за счёт, с одной стороны, оптимизации технологических процессов и уменьшения стоимости труда, с другой – увеличения количества выпускаемой продукции.

Таким образом, объёмы производства всё время должны нарастать, а относительная плата за труд – уменьшаться. При этом наиболее массовым покупателем продукции выступают наёмные работники. Если они меньше получают, то меньше и покупают. А предлагается товаров, услуг и сервисов всё больше. В какой-то момент их количество становится избыточным настолько, что они оказываются никому не нужны и производитель не может продать созданное, чтобы окупить затраты на производство.

Тогда он идёт на сокращение штата, остановку конвейеров и минимизацию производств.

Экономика впадает в кризис. Потом кто-то банкротится, кто-то что-то оптимизирует, цены на накопившиеся излишки падают, переполненные до отказа склады постепенно пустеют. И снова возникает спрос, превосходящий предложение. Всё повторяется на новом витке. Война или пандемия, кстати, могут существенно сгладить ситуацию, так как за короткое время создают новые рынки сбыта, рабочие места, запрос на определённые категории продукции, заказы и др. Поэтому войны и начинаются в тот момент, когда экономика достигает пика. Это – не следствие избытка силы, а способ избежать предстоящего резкого и болезненного падения с вершины. Возможно ли избежать кризисов как-то иначе? Думается, что да.

Предполагается, что можно улучшить капиталистическую систему, сделать так, чтобы её развитие было не циклическим (от кризиса до кризиса), а устойчивым. Для этого необходимо только организовать производство и потребление таким образом, чтобы они всегда были сбалансированы и упорядочены. Конечно, не в логике плановой экономики, а с возможностью сохранения власти и богатства капиталистов.

На помощь должна прийти **диджитализация** – цифровая трансформация общества и экономики. Это прежде всего интернет-технологии, технологии обработки больших объёмов данных, виртуальная и дополненная реальность, искусственный интеллект, 3D-печать, печатная электроника, блокчейн, квантовые вычисления и др.

Диджитализация поможет получить тотальный учёт и контроль: сколько всего и чего произведено, сколько всего и чего куплено. Она же ляжет в основу нового – инклюзивного, т. е. «всеобщего», – капитализма, при котором обычный человек не будет уже ничем владеть (никакой частной собственности), а станет только пользоваться сервисами. Так как без этих цифровых сервисов жизнь с течением времени окажется немыслимой, то спрос на них станет постоянным, увеличиваясь пропорционально потреблению без каких-либо принципиальных ограничений (а их не будет, потому что всё начнёт происходить в виртуальной цифровой среде, а не в имеющем пределы и границы мире материальных объектов).

Диджитализация – один из пяти китов, на котором планируется построить новый миропорядок. Наряду с ней можно говорить ещё о четырёх «D»: **десоциализации, деиндустриализации, декарбонизации, депопуляции.** При своём масштабном посткапиталистическом развёртывании эти векторы развития, предлагаемые современным капитализмом, вероятно, позволят обеспечить устойчивое развитие системы. Однако этот «дивный новый мир» окажется просто ужасным с точки зрения примерно 7 млрд человек, для которых в нём нет места. Сущность таких планов заключается в следующем.

Диджитализация – это основа. В той логике, в которой она развивается сегодня, это абсолютно страшный инструмент. Он включает в себя:

• внедрение систем повсеместного учёта и контроля на производстве, в сфере обслуживания, банковском секторе и так далее, что в итоге приведёт к введению тотального контроля над «неправильными людьми» и передаче ряда цивилизационных функций якобы «умному», а по сути примитивному искусственному интеллекту, с инженерной точки зрения на несколько порядков не дотягивающего по сложности до устройства простейшего микроорганизма, например коронавируса;

• ускоренное внедрение биоинженерных технологий, массовый выпуск роботов, продвижение проектов по генетическим мутациям и скрещиванию видов, а также скрещиванию людей, искусственного интеллекта и машин, что приведёт к поэтапному преобразованию человеческой личности в бездушное человекоподобное существо – в киборга, биоцифрового конвергента.

Десоциализация – это:

• установление новой гендерной политики, прославляющей меньшинства (социальные, этнические, расовые, биологические, гендерные) при их верховенстве над большинством;

• подчинение человечества либеральным ценностям, противодействие критическому и аналитическому мышлению людей, лишение приватности и гражданских прав, тотальная цензура, полный контроль и манипулирование СМИ, социальными сетями, а также сознанием, идеологией, образованием, наукой, культурой, искусством, религией. Ведь дряхлеющему и умирающему капитализму нужны примитивные потребители-конвергенты, а не творческие личности. При этом будет происходить планомерное снижение роли национальных государств в жизни общества, передача большей части их функций глобальным корпорациям;

• борьба с естественной рождаемостью, возведение телесного и духовного уродства и извращений, разврата и похоти, умственно и физически неполноценных людей в идеал гармонии и красоты;

• разрушение институтов семьи и национальных государств, которые должны быть заменены глобальными (наднациональными) корпорациями, вступившими в тоталитарную фазу своего развития;

• расширение влияния транснациональных корпораций Big Pharma, не заинтересованных в здоровье человека, так как прибыль могут принести только больные люди;

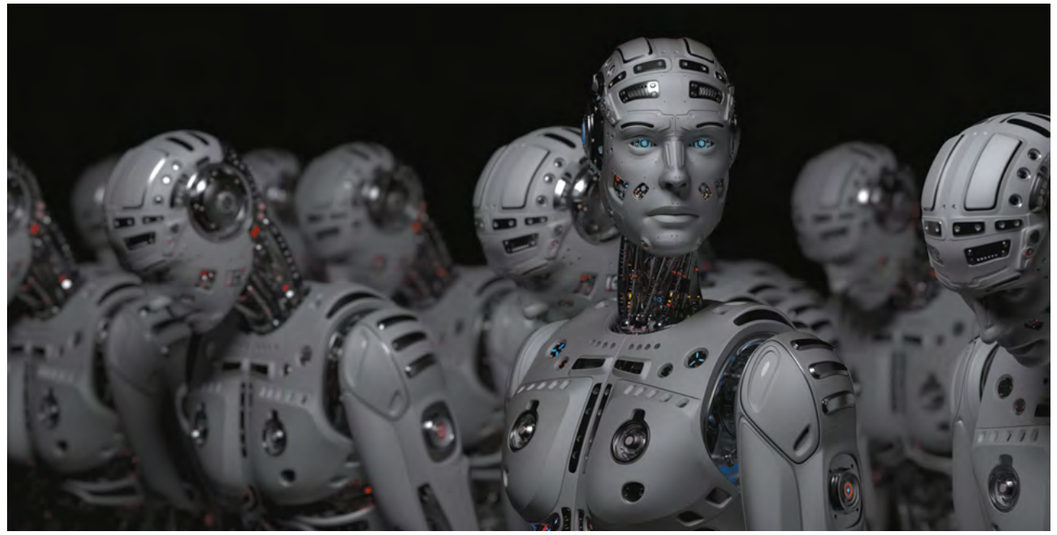
• чётко прослеживаемое поступательное внедрение в общественное сознание в течение многих десятилетий комплекса вины, т. е. комплекса личностной и коллективной неполноценности. Нас, нормальных людей, которых подавляющее большинство, заставляют на всех континентах каяться, чувствовать свою вину, неполноценность и ущербность по любому поводу: за то, что мы не гомосексуалисты; за то, что родились со светлой, а не с тёмной кожей (или наоборот); за то, что имеем ту или иную национальность; за то, что едим мясо и выступаем против генно-модифицированных и искусственных продуктов питания; за то, что сомневаемся в пользе вакцинации и вообще в существовании пандемии; за то, что у нас есть семья, есть мама и папа, что мы употребляем слова «мужчина» и «женщина», «он» и «она»; за то, что мы здоровы, а не инвалиды; за то, что не верим слепо в глобальное потепление и карбоновый парниковый эффект... Перечень нашей «вины» можно продолжить до бесконечности. По своей социальной сути – это психологический террор, развязанный против каждого человека и человечества в целом.

Общество постепенно и весьма последовательно превращается (вернее, его превращают) в некий турбулентный, хотя и умело управляемый, набор неудовлетворённых жизнью меньшинств, которые изначально, с самого раннего детства, обижены на «инородное» большинство. Об этих обиженных судьбой большинство общества, даже в ущерб своим интересам, обязано постоянно заботиться. Причём интересы меньшинств, в том числе их фанатичное стремление доминировать над большинством, не должны подвергаться сомнению и критике, иначе это сразу же попадает в разряд расизма, гомофобии или ксенофобии.

Автору настоящего исследования это напоминает историю раковой клетки, которая своими «нетрадиционными ценностями» вводит в заблуждение, т. е. обманывает, ослабленную иммунную систему здорового организма с миллиардами нормальных клеток и в конечном итоге, пустив метастазы во все органы, убивает своего хозяина и умирает сама.

Вытеснение с рынка небольших компаний и промышленных предприятий приведёт к возникновению глобальных монополий, которые вольны диктовать потребителю любые выгодные для себя условия.

Размывание функций государства и их передача глобальным корпорациям приведут к пересмотру социальной политики и общественной иерархии. Например, зачем платить пенсии, и вообще, нужны ли корпорациям недееспособные старики и дети, больницы и дороги, да и вся социальная инфраструктура? Поэтому в соответствии с новыми стандартами должны нормироваться потребление, рождаемость и другие проявления человеческой жизнедеятельности. Только так якобы можно поддерживать «устойчивое развитие» предлагаемого «дивного нового мира».



Снижение значения и роли государства необходимо бенефициарам капитализма для того, чтобы платить меньше налогов и одновременно увеличить спрос на товары и услуги, во многих странах предоставляемые населению за счёт этих же самых налогов. Речь здесь идёт об устранении посредника, снижающего эффективность капиталистической системы и добавляющего в неё ненужные переменные.

Десоциализация, отрывая от общества, делает каждого индивидуума беззащитным перед глобальными корпорациями, лишает его надежды получить помощь и поддержку от близких, которые могли бы передавать ему те или иные необходимые знания, опыт, товары или услуги. Естественно, он вынужден будет самостоятельно приобретать всё, что ему нужно, и как субъект потребления станет значительно более надёжен и эффективен с позиций зарабатывания на нём прибыли.

Именно поэтому под различными благовидными предлогами и происходит ускоренное устранение конкурентов глобальных корпораций (малого и среднего бизнеса, личной и частной собственности), а также осуществляется переход на якобы более «прогрессивную» шеринг-экономику.

Деиндустриализация – это:

- перемещение практически всех отраслей мировой экономики в расплывчатую и непрозрачную сферу экологического производства, параллельная монетизация самой окружающей среды и превращение её в капитал для узкого круга глобалистов. Происходит повсеместная смена традиционной природоохранной деятельности на экологический экстремизм;
- ускоренное сокращение производств и рабочих мест (особенно интеллектуальных и высокотехнологичных), создание цивилизационного «цифрового концлагеря» с объявлением общемирового локдауна и выплатой гарантированного (базового) вознаграждения, т. е. минимального «пайка» (как в любом другом концлагере) тем, кто не будет ходить на работу;
- сворачивание традиционного (природного) производства сельскохозяйственной продукции, переход на искусственные и генно-модифицированные продукты питания (в частности, на опасное для здоровья человека и неполноценное по своему составу и качеству искусственное мясо). Один из основных аргументов, используемых для этого, – якобы корова экологически более опасна, чем автомобиль и самолёт, так как выделяет много парниковых газов, в том числе углекислого газа и метана, поэтому от говядины человечество в ближайшее время будет якобы вынуждено отказаться.

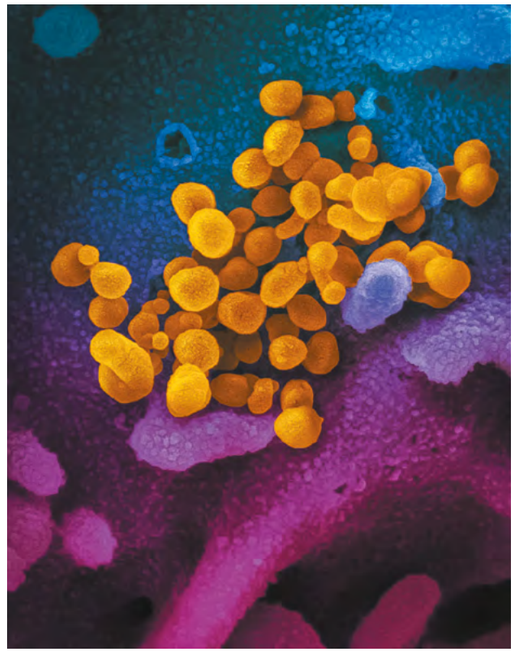
Декарбонизация – это отказ от углеводородного топлива и, соответственно, от выбросов CO_2 в атмосферу. Нефть, уголь, природный газ заменяются на якобы «зелёные» энергетические технологии – неэффективные и экологически не менее опасные.

Декарбонизация и деиндустриализация – это взаимосвязанные элементы одной и той же программы. В них, если посмотреть широко, речь идёт о монетизации экологии, превращении её в капитал. Людей и предприятия вынуждают таким образом платить за самые необходимые нам вещи – воду и воздух, стоимость которых становится частью прибавочной стоимости. Спрос на этот товар будет более устойчивым, что и позволит снизить опасность перепроизводства. С другой стороны, торможение индустриального развития – прямой путь к снижению реальных доходов населения и, как следствие, к сокращению его общего количества, что является одной из целей элит, определяемых как **депопуляция**.

Под тезисом «устойчивого развития» Римского клуба [4] предполагается ускоренное сокращение численности населения планеты до «золотого миллиарда». Отсюда и спецоперация «Пандемия COVID-19» с защитными масками и повсеместными локдаунами, которые разрушают семьи, иммунную систему людей, добровольно-принудительно помещённых в «домашнюю тюрьму», и уничтожают средний и малый бизнес – основу экономики любой страны. На самом деле это была эпидемия типа гриппа, причём знакомая человечеству ещё с XII в., демонизированная и возведённая в ранг пандемии в XXI в. недобросовестными СМИ под управлением и контролем олигархов-глобалистов.

В депопуляцию логически вписывается и не изученная надлежащим образом (по своим отдалённым последствиям) матричная РНК-вакцинация, также осуществляемая якобы самыми «гуманными» добровольно-принудительными методами. Со временем она может привести к необратимым генетическим изменениям вакцинированного организма, в том числе негативно влияющим на мужские и женские репродуктивные органы. По своей социальной сути такое «лечение» может быть использовано при необходимости как «бархатный геноцид», т. е. пролонгированное убийство. Хотя, скорее всего, мы и не узнаем, когда такая «необходимость» наступит.

Например, вакцинация якобы должна привести к коллективному иммунитету, хотя в документах Всемирной организации здравоохранения его называют «стадным». Человечество – это всего лишь стадо, в котором нужно заменить неподконтрольный третьим лицам естественный иммунитет, шлифовавшийся в течение миллиардов лет



эволюции жизни на планете, на управляемый извне искусственный иммунитет. Нас хотят «подсадить на иглу» – обязательную вакцинацию – жёсткую зависимость, сродни наркотической, от необходимости пожизненного приёма сомнительных и постоянно мутирующих, как и сам вирус, вакцин. Это станет ещё одним шагом в сторону превращения людей в киборгов.

Депопуляция необходима и по той простой причине, что за счёт автоматизации производств и подобных инноваций капитализм как общественная система не нуждается в большом количестве людей для своего функционирования. Более того, избыток людской биомассы опасен для системы, так как не задействованные в производстве индивидуумы тем не менее будут нуждаться в благах и даже требовать их. Поэтому лучше оптимизировать численность населения (причём за его же счёт) таким образом, чтобы оно обеспечивало достаточные объёмы спроса и было задействовано в производстве того, что само же и потребляет. То есть население должно быть в состоянии прокормить себя и в то же время гарантировать возрастание прибыли и роскоши мировым элитам, но не более того.

Описанное мироустройство – это глобальный цифровой концлагерь, цифровой фашизм. Система, предлагаемая нам в качестве образа инклюзивного будущего, будет строго упорядочена и самодостаточна. Основное отличие такого «дивного нового мира» от существующего миропорядка – устойчивость (в противовес цикличности). Поэтому-то глобалисты и повторяют словосочетание «устойчивое развитие» как мантру, как какое-то заклинание из чёрной магии. При этом они всеми силами пытаются делать вид, что их действия мотивированы только глобальными экологическими проблемами и заботой о людях. На самом деле причины здесь другие, а экология – это просто хороший товар. Лучший, возможно, из всех доступных нам планетарных бизнес-ресурсов.

Например, принц Филипп, супруг королевы Елизаветы II, один из идеологов сокращения населения планеты, рассуждая о своём перерождении, ещё в 1988 г. сказал: «Если бы мне довелось переродиться, я хотел бы стать смертельным вирусом, чтобы внести свой вклад в решение проблемы перенаселения» [5]. Как же нужно ненавидеть человечество, чтобы такое произнести? Неудивительно поэтому, что одна из главных целей «великого обнуления» – именно сокращение численности человеческой популяции.

18 октября 2019 г. Центром здравоохранения при университете Джонса Хопкинса совместно со Всемирным экономическим форумом и фондом Билла и Мелинды Гейтс были проведены пандемические учения под названием «Событие 201» [6]. Представители бизнеса, государственных и медицинских организаций обсуждали действия, необходимые в случае пандемии коронавируса, который должен будет перейти к людям от летучих мышей. Предполагалось, что от инфекции за 18 месяцев погибнут 65 млн человек. Пандемия продолжится до тех пор, пока не будет изобретена эффективная вакцина или число переболевшего населения не достигнет 80–90 %. При этом мировая экономика рухнет на 11 %.

Материалы о состоявшемся мероприятии имеются в открытом доступе, можно без труда найти сценарий, видеозаписи с места событий, итоговые рекомендации и др. Хотя учения провели за несколько месяцев до начала настоящей эпидемии, однако описание ситуации по многим пунктам совпадает с тем, что вскоре произошло в действительности. Утверждение, что учения являлись репетицией пандемии COVID-19, в дальнейшем было опровергнуто «уважаемым» экспертом по проверке достоверности информации – британской организацией FullFact. Примечательно, что в числе учредителей FullFact есть компании Facebook, Google и Институт «Открытое общество» Джорджа Сороса. Интересно и то, что этой же платформе принадлежит заслуга опровержения ещё целого ряда скандальных инфоповодов, напрямую или косвенно связанных с пандемией, депопуляцией и ролью в них мировых элит.

В число таких фактов входит получившая широкое распространение в сети цитата, датируемая 2009 г. и приписываемая бывшему госсекретарю США Генри Киссинджеру [7]: «Как только стадо примет обязательно-принудительную вакцинацию, это будет конец игры. Дальше они примут всё. Принудительное донорство крови или органов для большего блага. Мы будем генетически модифицировать детей, стерилизовать их – и всё для великого блага. Контролируя разум овцы, ты контролируешь стадо. Производители вакцин будут зарабатывать миллиарды… Это беспроигрышная ситуация. Мы прореживаем стадо, и стадо платит нам за предоставление услуг по уничтожению. Так что у нас сегодня на обед?» Тот же Киссинджер в 1974 г. подготовил секретный отчёт (Memorandum 200) [8], в котором говорилось, что рост населения в наименее развитых странах представляет большую угрозу для безопасности США, в связи с чем предлагалось направить все силы на обеспечение контроля над рождаемостью и на сокращение человеческой популяции. С 1975 г. этот документ лёг в основу официальной политики Соединённых Штатов. В начале 1990-х годов отчёт был рассекречен.

«Медицинская мафия» Big Pharma 20 лет шла к своей цели – создание устойчивого спроса на собственную продукцию в рамках нового мирового медицинского порядка, в котором человек – всего лишь некий субъект для проведения экспериментов, что-то вроде подопытного кролика. Больше всего для этого подходит вакцина – спрос на неё не зависит от конъюнктуры рынка. Для этого нужно только напугать всё человечество, все 7,9 млрд человек: «Вакцинируйтесь! Или умрёте». И спрос обеспечен на долгие годы. Вот для чего и нужны были пандемия и постоянно мутирующий вирус, для борьбы с которым будут необходимы всё новые и новые вакцины. Коронавирус идеально вписался в этот сценарий: очевидно, что на него был заказ.

Цены на ставшие незаменимыми вакцины со временем можно будет и поднимать, обеспечивая долгосрочную прибыль хозяевам ВОЗ, которая стала не защитником здоровья мирового населения, а эффективным инструментом для извлечения прибыли из каждого из нас в рамках ещё одной античеловечной программы «Биоцифровая конвергенция», разрабатываемой и успешно реализуемой мировыми элитами в соответствии с программой «5D» поэтапного превращения людей в конвергентов-киборгов.

Проблемы превышения пределов роста и перенаселения планеты, выставляемые глобалистами с 1970-х годов как главные для человечества, – это ширма, за которой скрывают другие настоящие проблемы, а именно проблемы пределов роста капиталистического производства и пределов его человеческой ёмкости.

Капитализм – это система, в которой немногие процветают за счёт многих, центр обогащается за счёт использования ресурсов периферии. В основу будущей посткапиталистической системы закладывается то, что она также будет не для всех. Такое «дивное будущее» предназначено (что тщательно скрывается) только для «бриллиантового миллиона», рядом с которым будет «кормиться» и обслуживающий его «золотой миллиард» оцифрованных слуг-крепостных – биоцифровых конвергентов. Это – с одной стороны.

С другой стороны, автоматизация производств приводит к тому, что потребности в рабочей силе для капитализма сводятся к достаточно низким показателям. Те, кто задействован в производстве, полезны. Они получают плату за свой труд. Они же являются и потребителями. А вот остальные несколько миллиардов – это что-то вроде назойливых паразитов, которых необходимо как-то более или менее содержать и которые к тому же представляют для системы реальную угрозу: если что, они могут в любой момент и взбунтовать.

Чем больше населения должна кормить капиталистическая система, тем она становится неустойчивее. Здесь сказывается то, что марксисты называли основным противоречием капитализма: противоречие между общественным характером процесса производства и частнокапиталистической формой присвоения результатов труда. То есть все существуют внутри системы, но существовать хорошо могут лишь немногие, а чем больше тех, кто не может, тем вероятнее, что это бедное большинство сбросит и уничтожит богатое меньшинство.

Именно поэтому, когда мировые элиты говорят о перенаселении, они заботятся отнюдь не об истощении ресурсов планеты – на самом деле им известно, что уже сегодня есть технологии, которые позволяют решить эту многокомпонентную проблему. Так они заботятся о сохранении своего богатства и господствующего положения. В этом для них и заключается настоящий смысл «устойчивого развития». Для достижения своих истинных целей они подменяют понятия. Там, где речь идёт о пределах роста капитализма, они говорят о пределах роста вообще и находят способы, как достичь своих целей и на этом ещё и заработать. В этом и заключается их чёрная магия. Таков план мировых элит.

Таким образом планомерно формируется «новая реальность» с «новым крепостным» – человекоподобным существом без свойств, которым легко управлять и манипулировать на уровне животных рефлексов. А именно: бесполым и бездуховным, без исторической памяти и без идентичности, без совести и без нравственности, без семьи и без детей, без целеполагания и без смысла жизни (кроме смысла потребления, причём не столько реального, сколько виртуального эмоционального).

И не нужно видеть в этих планах какую-то теорию заговора и конспирологию. Никакого заговора нет. Мировые элиты, надев маски на нас, на миллиарды людей по всему миру, свои маски сняли. Они не скрывают своих намерений, говорят о них в открытую. Любой может в этом убедиться. Стоит только задаться целью и потратить немного времени. Например, можно прочитать книгу «COVID-19: великая перезагрузка», написанную Клаусом Швабом [9] – одним из идеологов глобалистов и бессменным главой Всемирного экономического форума в Давосе. Вот всего несколько цитат из неё.

«Мир больше не будет прежним, капитализм примет иную форму, у нас появятся совершенно новые виды собственности помимо частной и государственной. Крупнейшие транснациональные компании возьмут на себя больше социальной ответственности, они будут активнее участвовать в общественной жизни».

«Правительства должны адаптироваться к тому, что власть… переходит от государства к негосударственным субъектам, а также… к сетям с более свободным устройством… Всё чаще правительства будут рассматриваться как центры по обслуживанию населения».

«Чем больше демографический рост, тем выше риск новых пандемий».

«Если демократия и глобализация будут расширяться, то национальному государству места не останется».

«Чтобы положить конец пандемии, необходимо создать всемирную сеть цифрового контроля».

И так далее… В этой книге можно найти подтверждение всему, что сказано выше. О своём согласии с тезисами Шваба, не стесняясь, заявляют, например, премьер-министр и принц Великобритании, президент США [10] и др. Очевидно, что руководители транснациональных корпораций также не будут против такой программы, явно выражающей их интересы.

В подтверждение сказанного можно сослаться на подробный анализ тупиковости социально-экономического вектора развития, в котором движется наша цивилизация, ведомая «глубинной властью», выполненный в многочисленных работах и выступлениях в области экономики, природопользования, экологии, социологии и политики таких независимых исследователей, как М. Хазин, В. Катасонов, И. Шнуренко, О. Четверикова, А. Дугин, А. Фурсов, С. Переслегин и др. [7, 11].

Разработчики программы «Великая перезагрузка» фактически планируют обнулить технократический вектор развития человечества, сформированный в течение многих предшествующих тысячелетий, собственно, как и обнулить саму человеческую техногенную цивилизацию – ту, которую мы знаем и частью которой являемся. По своей социально-экономической сути происходящий в течение нескольких последних десятилетий кризис капитализма как системы его бенефициары пытаются завуалировать под кризис человечества – общепланетарного техногенного социума, созданного в эпоху капитализма.

Автору настоящего исследования абсолютно понятно и совершенно чётко видно, что благими намерениями глобалистов вымощена дорога в общепланетный цивилизационный ад.

Поэтому у нас имеется совсем другой план. Его направления:

1) устойчивое развитие земной техногенной цивилизации без снижения численности населения космического дома по имени Планета Земля с осознанием того, что колыбель человечества сможет спокойно, не напрягаясь, «прокормить, одеть и обуть» 10 млрд человек (а при необходимости – и в разы больше) в интеллектуальной логике *Homo sapiens*: «Вперёд к интеллектуальному и духовному развитию и совершенству», так как у любого человека, в отличие от изобретённой им машины, в том числе искусственного интеллекта, есть духовность, социальность, коллективная идентичность;

2) решение всех глобальных проблем современности с превращением планеты в цветущий сад в биологической (материалистической) логике *Homo sapiens*: «Назад к Живой Природе» – к истокам живого вещества, составляющего его материальное тело и нематериальную душу, в том числе и мозг – основу интеллектуальности и духовности;

3) ускоренная индустриализация (базовая ценность нашей техногенной цивилизации) с перезагрузкой инженерного вектора развития человечества на принципиально новую парадигму: «Земля – для жизни. Космос – для индустрии». Для этого требуется осознать неизбежность и неотвратимость превращения локальной земной цивилизации в категорию «Космическая», что возможно только при использовании принципиально новых геокосмических технологий, как инженерных, так и социальных и духовных.

При этом всем нам, не относящимся к «бриллиантовому миллиону», необходимо успеть до цивилизационной точки невозврата, которая со стопроцентной вероятностью с течением времени (уже в ближайшие 10–20–30 лет) может завершиться для земной человеческой цивилизации совершенно иным этапом: «Добро пожаловать в оцифрованное первобытное полуживотное прошлое».

Возможность трансформации существующей системы без поворота вспять

Преобразовать капиталистическую систему без потрясений и нарушения существующей диспозиции сил вполне возможно. Для этого не нужно отказываться от достижений цивилизации и того технологического, т. е. индустриального, вектора развития, который избрали наши предки. Сделать это можно, как и в предлагаемом глобалистами сценарии, при помощи инженерных технологий. Но только не цифровых, не природоподобных, а природных биосферных технологий. Так же, как и с продвигаемой глобалистами программой, сами капиталисты здесь окажутся только в выигрыше. Разница лишь в том, что в выигрыше – в раскинувшемся по всей планете райском саду, а не в цифровом концлагере – окажется и всё остальное будущее человечество (порядка 10 млрд человеческих личностей). Ещё более важно, что это поможет не только сохранить наш общий дом – земную биосферу, но и оздоровить её. Такие технологии существуют, все они уже давно известны [1, 2].

Если капитализму так необходимо постоянное расширение рынков сбыта, то это можно сделать не за счёт разрушения государств и развязывания войн, когда на руинах нужно строить всё заново (что и обуславливает рост спроса на выпускаемую продукцию). Можно расти не только количественно, но и качественно, создавая новые рынки за счёт развития новых технологий и соответствующих им отраслей экономики. Сравнить это можно, например, с тем, что происходило в США в годы строительства железных и автомобильных дорог.

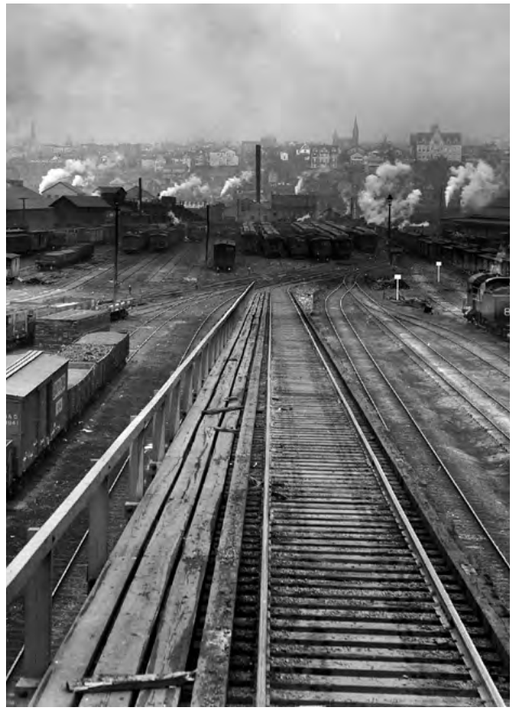
Всего за 10 лет, с 1880 по 1890 г., американцы построили 117 000 км железных дорог, с чем связывают первое экономическое чудо Нового Света. В XX в. они наладили массовое производство автомобилей и проложили более 6 млн км автомобильных дорог, благодаря чему была создана мощная промышленность и построена «одноэтажная Америка», организованы миллионы новых рабочих мест, что в конечном итоге способствовало значительному росту валового внутреннего продукта (ВВП).

Железные и автомобильные дороги – это новая технология. Но так было тогда. Почему же подобное невозможно теперь? Ответ очень простой: именно такие дороги и именно такие машины и в таком количестве больше не нужны. Рынок ими перенасыщен.

Примерно то же самое происходит и в других областях, в чём и коренятся причины планируемого цивилизационного дауншифтинга, в котором видится единственно возможный выход. Следовательно, нам нужны новые инженерные технологии: такие, которые позволят улучшить наш реальный материальный мир, а не обеспечат исход из него в виртуальное цифровое рабство, абсолютно чуждое человеку как материальному биологическому существу.

Цифровые продукты на фоне физических выглядят для производителя более привлекательно, так как имеют значительно больший запас для роста. Нам, например, не нужен новый автомобиль каждые полгода, потому что он не будет существенно лучше предыдущего. Но мы можем захотеть каждые полгода менять гаджет и каждый месяц покупать новое программное обеспечение, поскольку эти продукты могут существенно превосходить своих предшественников. Корпорациям следует только грамотно подсказать, чего желать каждому из нас в бесконечном мире виртуальных возможностей – полететь на альфу Центавра, отрастить крылья или отправиться в эру динозавров.

Цифровые корпорации могут снова и снова пробуждать в человеке желания и эмоции и продавать ему соответствующие средства их исполнения. Хотя на самом деле речь идёт не о воплощении любых желаний, а лишь об их виртуальной компенсации. Вместе с тем уход в виртуальный мир приведёт к тому, что реальный материальный мир, построенный цивилизацией, да и сам человек



(как реально существующий биологический субъект) будут деградировать. Но с учётом озвученных выше планов это никого не пугает. Наоборот, к этому нас подталкивают. Сначала ты не ходишь на работу, трудишься удалённо, потом перестаёшь нуждаться в других людях, семье, не испытываешь потребности путешествовать. В конце концов просто умираешь, не давая потомства.

Перезагрузка системы через её диджитализацию – это путь в тупик, так как мы, люди, всё же биологические существа из плоти и крови. Да и к тому же речь не идёт о настоящей перезагрузке. С 1970-х годов, со времён доклада Римского клуба, мировые элиты предлагают не перезагрузку цивилизации, а остановку в её развитии, жёсткое нормирование в целом и откат назад в цифровое средневековье. Хотя перезагрузка и возможна. Но не через уход в виртуальный мир, а через возврат к Живой Природе – через природные технологии, дружественные земной биосфере. Такая перезагрузка осуществима в двух направлениях, которые будут идти параллельно друг другу.

Первое направление. Использование инновационных биосферных технологий в жилой, транспортной и производственной инфраструктуре, в энергетике и сельском

хозяйстве; задействование всех мощностей и возможностей капиталистической производственной системы. Это обеспечит существенный экономический рост и массовое внедрение данных биосферных технологий в планетарных масштабах.

Второе направление. Переход к новой посткапиталистической системе, в которой субъектами хозяйственной деятельности и культурной жизни становятся небольшие общины численностью в несколько тысяч человек, объединённые по месту жительства (в пешеходных кластерах-посёлках) в рамках единой глобальной транспортно-инфраструктурной системы линейных городов.

Далее будут подробно описаны предлагаемые биосферные технологии и та новая система социально-экономических координат, которая может возникнуть на их основе. Очень важно, что предложенная модель применима как в масштабах каждой отдельной страны, так и мира в целом. Реализация предлагаемых решений имеет большой инвестиционный потенциал и способна стать драйвером развития экономики любого государства. В дальнейшем это позволит существенно повысить уровень жизни всех людей на планете – без ограничений по численности народонаселения и без ущерба для окружающей среды.

Биосферные технологии, новый быт и новая общественно-экономическая система

Как уже сказано, цифровые технологии не являются самодостаточными. Основу любой экономической системы составляют сельское хозяйство и энергетика, без которых никак не обойтись. Что в этих отраслях предлагают современные эксперты? Генетически модифицированные продукты и искусственное мясо. Переход на возобновляемые источники энергии. С первым всё понятно: питаться такими продуктами просто вредно и даже опасно для здоровья. Со вторым тоже понятно: переход на возобновляемые источники энергии без широкомасштабного освоения космоса и вынесения туда экологически вредной части земной индустрии возможен только в случае, если мировое энергопотребление будет существенно сокращено (что и предлагается в рамках деиндустриализации и декарбонизации с последующей депопуляцией, в том числе через десоциализацию). То есть здесь мы видим полную согласованность частных пунктов программы «5D» с тем общим видением, которое уже довольно подробно разобрали.

Имеется ли альтернатива? Да, она есть. Это биосферное сельское хозяйство и экологически чистая реликтовая солнечная биоэнергетика (РСБЭ).

1. Сельское хозяйство необходимо локализовать в местах проживания людей в шаговой доступности, сделав его высокопродуктивным на живом плодородном гумусе, полностью природном и органическом – без применения химических удобрений, ядохимикатов и генной модификации. Здесь, в пешеходных кластерах линейных городов, будет производиться пища и здесь же все её отходы, в том числе канализационные стоки, будут превращены в живой высокоплодородный гумус. На этом гумусе в кластере вырастет новая пища, что соответствует естественному круговороту живого вещества в биосфере. Более подробно об этом будет сказано ниже.

2. Энергия, запасённая в бурых углях и горючих сланцах, – это реликтовая солнечная энергия, полученная от нашего светила живыми организмами, проживавшими на планете более 100 млн лет назад. Поэтому горючие сланцы и угли (имеющие те же наборы макро-, микро- и ультрамикроэлементов, что и древние организмы, существовавшие во времена, когда окружающая среда не была загрязнена индустриальными отходами) могут быть использованы не столько для генерации электрической и тепловой энергии, сколько для получения реликтового живого гумуса – основы плодородия любых почв. Более подробно об этом будет сказано ниже.

3. Жилая и производственная инфраструктура должна быть размещена в линейных городах, которые позволят эффективно обустроить не только уже освоенные земли, но и отдалённые и труднодоступные территории (например, горы или шельф моря, тайгу или джунгли, пустыню или тундру), тем самым решив проблемы, вызванные повсеместной урбанизацией.

Постепенно всё больше и больше людей захочет поселиться в таких местах, предпочитая их для более обустроенной, более достойной и более счастливой жизни вместо её прожигания в погоне за прибылью в бетонно-асфальтовых джунглях мегаполисов. Фактически будет происходить то же, что и было ранее, когда люди стали массово переезжать в города из деревень, только эта миграция пройдёт в обратном направлении. Более подробно об этом будет сказано ниже.

4. Для инвесторов и потребителей привлекательность линейных городов будет обеспечена более комфортными условиями жизни в них, а также транспортной доступностью при существенной экономии средств на строительство и эксплуатацию всей жилой, производственной, транспортной и социальной инфраструктуры. Если, например, и возникнет необходимость добраться в существующий мегаполис, то это можно сделать за приемлемые время и деньги, даже если кластер проживания удалён от него на сотни километров. Данное утверждение, а также преимущества струнного транспорта для линейных городов будут подробно обоснованы ниже.

Реализация этих четырёх комплексных решений, дружественных биосфере, обеспечит подъём мировой экономики.

Производимый на солнечных реликтовых биоэлектростанциях гумус – один из наиболее востребованных на сегодняшний день товаров в мире. Ведь плодородная почва на планете повсеместно деградирована из-за неправильного её использования. Налаживание массового производства биогумуса из бурого угля и сланцев позволит экспортировать этот высокорентабельный продукт по всему миру, получая прибыль даже выше той, которую сегодня имеют поставщики нефти. Причём потребность в биосферном гумусе будет значительно выше, чем нынешняя потребность в антибиосферной нефти.

Перевод сельского хозяйства на использование живого гумуса, обогащённого ассоциациями полезных почвенных микроорганизмов (вместо мёртвых химических удобрений), повысит урожайность и качество сельскохозяйственной продукции – она вся станет только органической. В свою очередь это будет инвестицией в здоровье мирового населения и в человеческий потенциал. Очень важно, что такая продукция получена в шаговой доступности и теми же производителями, которые эти продукты питания затем употребят в пищу, – трудно представить лучший контроль качества сельскохозяйственной продукции, основы нашего здоровья. Таким образом, это гарантирует продовольственную безопасность всех жителей линейного города.

Создание новой транспортно-инфраструктурной отрасли на базе технологий Струнного транспорта Юницкого (ЮСТ; англ. – uST) обеспечит заказы для предприятий, занятых в строительстве, машиностроении, производстве стройматериалов, металлургии, разработке программного обеспечения, электронике, энергетике и др.

Возведение линейных городов станет стимулом для рынка недвижимости, позволит осваивать отдалённые территории. При этом значительную часть расходов на всё вышеописанное (энергетику, сельское хозяйство, транспорт, жильё) могут взять на себя конечные потребители – будущие жители линейных городов, так как все эти элементы являются частью городской инфраструктуры. Так же, как, например, и лифт в доме, детская площадка во дворе или парковка – это части жилого комплекса, стоимость которых входит в стоимость покупаемой человеком квартиры.

Государство может стимулировать спрос за счёт запуска различных программ, включая ипотеку. Затем, по мере строительства линейных городов и переселения в них людей, станет меняться вся общественно-экономическая система. Для понимания того, что будет происходить, надо взглянуть на устройство быта в новых линейных поселениях, о чём более подробно будет сказано ниже.

Поскольку основой планов «великого обнуления» являются якобы достижение пределов роста цивилизации и хозяйственной ёмкости планеты, нехватка земных ресурсов и вызванные этим глобальные проблемы (с навязываемыми человечеству параноидальными ограничениями во всём и везде, в том числе и в самом интеллекте *Homo sapiens*), то на развенчание этих псевдонаучных мифов, собственно, и направлена основная часть комплексных исследований, осуществлённых в настоящей работе.

Критерии пределов хозяйственной ёмкости биосферы

Пределы хозяйственной ёмкости земной биосферы могут быть рассмотрены с различных позиций.

1. Биосфера – живое вещество (порядка триллиона видов уникальных, неповторимых и очень сложно устроенных с инженерной точки зрения живых организмов [12]), созданное природой на планете Земля за последние 3,5 млрд лет эволюции Вселенной.

2. Земная техногенная человеческая цивилизация – мегасоциум из 7,9 млрд личностей, созданный одним из видов живых организмов (человеком разумным) в биосфере планеты Земля за 2 млн лет развития инженерных (индустриальных) технологий.

3. Техносфера (общемировая индустрия) – мёртвое вещество, созданное преимущественно за последние два столетия (за период, когда население планеты превысило отметку в 1 млрд человек) техногенной цивилизацией в виде миллионов примитивных инженерных технологий, каждая из которых (например, самолёт или смартфон) по сложности заложенных в неё инженерных решений в миллионы раз уступает простейшему живому существу – микроорганизму [13].

При этом необходимо отметить, что и современное человечество, и создаваемый им искусственный интеллект являются промежуточными (а не конечными) биосферными продуктами (между животным прошлым и цивилизационным космическим будущим) техногенного вектора развития земной человеческой популяции. Значит, ни те ни другие не смогут устойчиво существовать, и тем более развиваться, без инженерных технологий, их породивших.

Устойчивое развитие нашей цивилизации, в том числе в отдалённом будущем, возможно только в результате создания новых социоиндустриальных технологий, дружественных биосфере, а не путём деиндустриализации и тотального свёртывания (фактически обнуления) существующих промышленных технологий.

Мы ведь не цивилизация дельфинов, которые, имея очень высокий интеллект и язык общения (даже более сложный, чем у людей), всё же являются популяцией животных, полностью зависимых от окружающей среды, так как у них нет ни науки, ни искусства, ни цивилизационного социума и духовности, ни инженерных технологий, в том числе индустриальных.

Все существующие промышленные технологии, враждебные биосфере, должны быть реконструированы в «биосферные» технологии, а если это невозможно, то вынесены за пределы планеты в мёртвую среду – ближний космос.

Понятие «хозяйственная ёмкость биосферы» является неприемлемым критерием для объективного анализа, так как современная хозяйственная деятельность человека исходит из существующих индустриальных технологий, для которых главным драйвером развития и прогресса в течение нескольких последних столетий стали получение прибыли и рост ВВП на душу населения в нематериальном (цифровом) денежном исчислении.

Следовательно, системный анализ необходимо проводить исходя из физических (а не виртуальных денежных) характеристик и не путём переноса в будущее современных паразитирующих и противопоставляемых Живой Природе масштабных индустриальных технологий, а опираясь на природные, известные уже сегодня, но не нашедшие широкого применения биосферные технологии. Главное, чтобы эти технологии дружили с реальной Живой Природой и биосферой в целом, а не с виртуальной цифровой экономикой сошедшего с ума искусственного интеллекта, где ни мы, ни Живая Природа не нужны – мы там лишние.

Анализ необходимо проводить, учитывая следующие физические критерии: вещество, энергия и информация. Они и есть ключевые ресурсы как для биосферы, биологической составной частью которой является человечество, так и для техносферы, интеллектуальной (информационной) частью которой также является человечество, но уже как планетарный социум – техногенная цивилизация. Основное вещество здесь:

1) для человечества:

- живая плодородная почва на основе природного гумуса;
- органические (природные) продукты питания (выросшие на живом плодородном гумусе, который содержит практически всю таблицу Менделеева) как источник энергии и исходное сырьё для строительства любой клетки нашего организма;
- чистая слабоминерализованная природная питьевая вода, состоящая из практически всей таблицы Менделеева (например, родниковая вода содержит порядка тысячи растворённых минералов, при этом дистиллированная вода, вообще не имеющая никаких минералов, чрезвычайно опасна для здоровья человека);
- чистый атмосферный воздух, насыщенный живительным кислородом (в среднем 20,9 % по объёму, 23,1 % по массе), который продуцируется и количественно регулируется живыми земными организмами;
- каждый квадратный метр поверхности Земли и каждый кубический метр почв и вод – жизненное пространство, которое давным-давно, ещё миллиарды лет назад, повсеместно было занято настоящими хозяевами планеты: живыми организмами (преимущественно микроорганизмами) – с ними наши многоклеточные предки, в том числе прачеловек, научились (скорее, эволюционно приспособились) мирно сосуществовать многие миллионы лет назад;

2) для индустрии:

- минеральное сырьё (практически вся таблица Менделеева);
- энергетические (топливные) ресурсы;
- чистый атмосферный воздух, в котором для индустрии нужен в основном только кислород (например, для сжигания топлива);
- технологическая вода, в том числе дистиллированная или содержащая специальные технологические добавки, как правило, опасные для жизни;
- квадратные метры поверхности планеты и кубические метры почв и вод – технологическое пространство, отнимаемое у земной жизни и затем загрязняемое мёртвыми и чуждыми техногенными отходами, опасными для живой биосферы.

Поскольку к созданию земной биосферы человечество не имеет никакого отношения (оно замечено только в попытках её уничтожить), то в настоящем исследовании сама биосфера не рассматривается как предмет системного анализа.

Природные ресурсы и их критерии

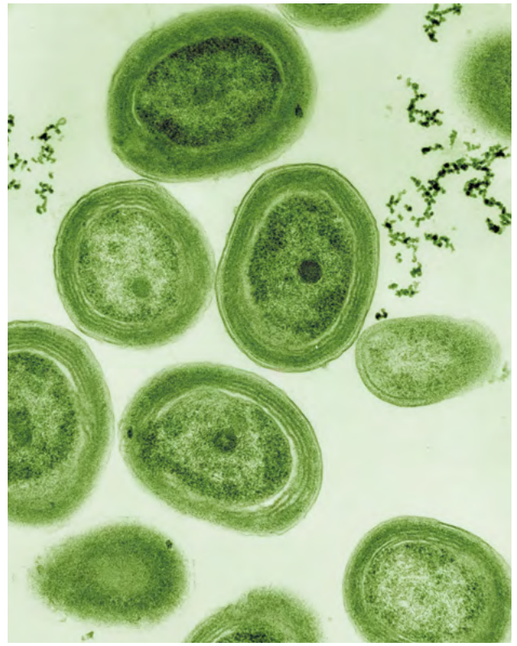
Современная живая биосфера Земли создана миллиардами видов живых существ на изначально мёртвой планете, третьей по счёту от звезды категории «жёлтый карлик», на окраине ничем не примечательной спиральной галактики средних размеров. Жизнь зародилась, возможно, случайным образом из случайного набора нескольких десятков химических элементов благодаря случайному сочетанию нескольких десятков благоприятных физико-химических и природно-климатических условий. Вероятность появления основы такой жизни – сверхсложной по устройству и функционированию живой клетки – равна нулю (более точная математическая вероятность: в 10^{100} раз меньше, чем соотношение $1 : 10^{100}$), но она всё-таки возникла.

Эволюция земной биосферы заняла около 3,5 млрд лет, при этом она регулируется жизнью, управляется жизнью и оптимизируется всей общепланетарной жизнью, а не каким-либо одним видом живых организмов. Первые живые существа, населившие новую планету, – синезелёные водоросли (простейшие цианобактерии).

Мёртвая техносфера создана по другим физическим лекалам: она полностью построена вокруг инженерных технологий только одним из видов живых организмов, наделённым разумом, – человеком. Им же она регулируется, управляется и оптимизируется. Первые сложные инженерные технологии, заложенные в фундамент технологического развития земной человеческой цивилизации, – это колотые каменные орудия труда, созданные около 3,5 млн лет назад. Но более важные технологические изобретения (появились около 2 млн лет назад) – это технологии разведения костра и приготовления пищи на огне путём сжигания одного биосферного продукта (дерева) в другом биосферном продукте (кислороде воздуха).

Биосфера и техносфера, созданные на разных – антагонистических – принципах, заняли на нашей планете одну и ту же нишу в пространстве и во времени. Между ними происходит борьба за ресурсы – жизненные (биосферные) и технологические (техносферные). Поэтому необходимо различать:

- вещество живое и вещество мёртвое;
- ресурсы для жизни и ресурсы для инженерных технологий;
- энергию для жизни и энергию для индустрии;
- пространство (среду) для жизни и пространство (среду) для технологических процессов;
- безопасность для живых организмов и безопасность для промышленных технологий;
- информацию для продолжения и развития жизни (материальные молекулы ДНК и гены, где важны как сами носители – атомы химических элементов практически всей таблицы Менделеева, так и их пространственные комбинации, т. е. непосредственно информация) и информацию для инженерных технологий (виртуальные цифры, записанные на материальных носителях, где носители не имеют никакого значения, а важны только сами цифры).



И живые существа (микроорганизмы, растения и животные, в том числе человек), и индустриальные «существа» (инженерные технологии, оборудование, здания, сооружения и др.) являются открытыми системами. Они обмениваются со средой обитания веществом, энергией и информацией по одним и тем же основным принципам: на входе в систему у них – ресурсы, на выходе из системы – продукт (услуга) и отходы, образующиеся в результате обменных процессов и вычленения из исходного сырья полезного для человека продукта или услуги (например, для домны – это выплавленная сталь; для автомобиля – оказанная транспортная услуга; для коровы – молоко и мясо).

При этом и полезные для человека продукты, и образующиеся отходы (как индустриальные, так и органические) попадают в одну и ту же среду, из которой и было взято исходное сырьё (например, для домны сырьё – это руда, уголь и кислород воздуха; для коровы – трава, вода и кислород воздуха), т. е. в биосферу планеты. Поэтому любая индустриальная технология, какой бы «зелёной» и «безотходной» она ни была, неизбежно загрязнит живую биосферу чуждыми ей мёртвой продукцией и мёртвыми же отходами. Желание создать безотходные инженерные технологии равносильно попыткам «усовершенствовать», например, корову (и не важно, кнутом или пряником): главное, чтобы она производила только молоко и мясо без генерации навоза, мочи, метана, CO_2 и других отходов.

Жизнь изменила и гармонично приспособила изначально мёртвую планету под себя, сделав её живой; индустрия неизбежно изменит живую планету под себя, сделав её мёртвой, – это только вопрос времени. Выход единственный – необходимо вынести земную индустрию (техносферу) за пределы земной жизни, т. е. биосферы. И есть только одно близкое к нашей земной цивилизации место для переработки мёртвого сырья в мёртвую же продукцию без негативного влияния и загрязнения живой земной биосферы – это ближний космос, окружающее планету мёртвое космическое пространство.

Биосферные ресурсы

Дом, в котором живёт человечество (не вся планета Земля, а только её очень небольшая по размерам и массе часть), – биосфера планеты. И даже не вся биосфера, а только самая верхняя часть земной коры и самая нижняя часть земной атмосферы (от корней деревьев до их верхушек), имеющая относительную толщину порядка 1/100 000 диаметра планеты. По сути, это тончайшая живая плёнка, нежная «кожа планеты», где находится практически вся земная жизнь и где человек разместил основную часть земной индустрии (кроме самолётов, ракет и подводных лодок, движущихся при выполнении транспортной работы). И земная жизнь, и земная индустрия пользуются основными видами ресурсов именно из данной части биосферы.

При этом всё человечество, как одна большая семья из почти 8 млрд личностей, «прописано» даже не в доме, а в одной общей и очень большой «коммунальной комнате» – биосфере, у которой нет ни окон, ни дверей, ни перегородок, где Живой Природой изначально были «прописаны» ещё миллиарды других полноправных семей – видов живых организмов.

В состав клеток любого живого организма входят 86 химических элементов Периодической системы – макро-, микро- и ультрамикроэлементы, 25 из которых обязательны для нормальной жизнедеятельности организма, а 18 – абсолютно необходимы, как правило, в составе сложных органических соединений, поступающих с пищей [14].

Вода является важнейшим биосферным минеральным ресурсом для рождения и существования любого земного живого организма. H_2O составляет в среднем около 75 % массы любой живой клетки, поэтому основной химический элемент клетки по массе – это кислород воды, а в сухом остатке после испарения воды – углерод, около 60 % по массе. Этот основной химический элемент необходим для строительства клеток; растения суши, на которые приходится 98 % всей земной биомассы, берут его из углекислого газа, содержащегося в атмосферном воздухе. Значит, атмосферный CO_2 также является важнейшим биосферным минеральным ресурсом.

Каждый живой организм, как отмечено выше, – открытая система и, соответственно, участник биосферного обмена веществ. Он потребляет из биосферы пищу, воду, воздух и выделяет обратно в неё же отходы своей жизнедеятельности – в почву, воду и воздух. Органические отходы затем становятся пищей по цепочке от одних видов микроорганизмов (через флору и фауну) к другим видам микроорганизмов. Таким образом, простейшие формы жизни являются началом пищевых цепочек и их же концом, поэтому сообщества микроорганизмов (преимущественно почвенных) считаются основой всех биосферных процессов и, собственно, главными создателями земной биосферы.

Промежуточным отходом биосферных обменных процессов стал также кислород (и как производное – озоновый слой), который оказался для большинства современных видов организмов (в первую очередь для фауны, в том числе и для человека) незаменимым атмосферным минеральным ресурсом.

Поколения губок, мириады мириад бактерий и водорослей – настоящие создатели современной земной коры, включая накопленные запасы осадочных пород, мела, железа и даже золота и алмазов. Почти все организмы нуждаются в фосфоре, кальции и, конечно, углероде. Формирование известкового скелета (как у кораллов или древних археоциат) происходит с выделением углекислого газа, поэтому побочным результатом строительства рифов в древние времена стал парниковый эффект.

Например, кокколитофориды поглощают из воды не только кальций, но и растворённую в ней серу. Она требуется для синтеза органических соединений, которые повышают плавучесть водорослей и позволяют им держаться вблизи освещённой поверхности. Когда эти клетки отмирают, органика распадается, и летучие соединения серы испаряются вместе с водой, служа затравкой для образования облаков в атмосфере планеты. В литре морской воды может содержаться до 200 млн кокколитофорид; ежегодно эти одноклеточные исправно поставляют в атмосферу до 15,5 млн тонн серы – больше, чем, например, все вулканы и весь земной транспорт [15].

Даже более лёгкие плиты материков сформированы во многом благодаря живым организмам, которые, преобразуя вулканические породы в другие минералы, изменили тектонику планеты – более тяжёлые океанические плиты при своём движении стали подныривать под более лёгкие континентальные плиты. Там, в горячих недрах планеты, они переплавляются в этом природном химическом реакторе на глубине 120–180 км, образуя алмазы из отмершей органики (океанических донных отложений), которые затем выносятся извержением вулканов через кимберлитовые трубки на поверхность земной коры.

Необходимо также отметить, что поток энергии, производимый живыми организмами на Земле, в 30 раз превышает геологический поток энергии [16].

В итоге живые организмы, используя солнечную энергию, перерабатывают мёртвое вещество планеты в живое вещество, конечным продуктом которого (т. е. конечным органическим отходом) являются ил, он же сапропель (донные отложения пресноводных водоёмов), и почвенный гумус – основа плодородия любых живых почв на земной суше.

Все биологические ресурсы возобновляемы (неисчерпаемы) вследствие круговорота в земной биосфере вещества, энергии и информации. Для биосферы планеты внешним источником энергии является только Солнце. Поэтому жизнь в той или иной форме будет существовать на Земле по меньшей мере ещё 5 млрд лет, пока не погаснет наша звезда.

Благодаря Солнцу и атмосферному кислороду, в земной биосфере образовался ещё один незаменимый побочный продукт (отход) – озоновый слой. Без него жизнь на планете (в первую очередь на суше) была бы невозможной из-за жёсткого ультрафиолетового излучения нашего светила. Озоновый слой находится в динамическом равновесии; самый главный враг для него – стратосферная авиация и космические ракеты. Например, один старт тяжёлой ракеты-носителя выжигает в озоновом слое тоннель размером с Францию и уничтожает порядка 10 млн тонн озона, а 100 частых запусков способны полностью его уничтожить [13]. И хотя такие «озоновые дыры» затем постепенно затягиваются под воздействием солнечного излучения и выработки нового озона, вред от них очевиден, и он огромен.

Живое вещество и гумус как ресурс

Гумус в почве является основным биосферным отходом и в то же время главным пищевым ресурсом органического происхождения для флоры (т. е. для примерно 98 % всей земной биомассы), содержащим все необходимые для жизни химические элементы в виде сложнейших наборов органических веществ. Но главное в другом – в каждом килограмме плодородного гумуса работают порядка триллиона тружеников, входящих в сложнейший симбиоз из нескольких десятков тысяч видов почвенных бактерий и микроорганизмов, без которых нормальное существование биогеоценозов было бы невозможным.

В почве берёт начало пищевая цепочка всей земной жизни. Одни микроорганизмы накапливают нерастворимые гумусовые соединения (иначе первый же дождь вымыл бы всё питание из почвы), другие переводят их в растворимую форму, кормят и поят растения, так как живут не только в почве, но и в корнях, и в надземной части растений. При этом у них достаточно узкая специализация, так как они продуцируют тысячи разнообразных органических веществ, в состав которых входят более 80 химических элементов таблицы Менделеева, без чего невозможно существование любых многоклеточных организмов, в том числе и человека.

По своей сути живой плодородный гумус земных почв является не только главным биосферным ресурсом, но и главным составным звеном глобальной иммунной системы: он кормит, поит и лечит биосферу и, конечно, нас, людей, в том числе через здоровую, полноценную и целебную пищу, выросшую на этой почве. От здоровья живых плодородных почв, которые почти повсеместно уничтожены пахотой, химическими удобрениями, ядохимикатами, индустриальными загрязнениями, зависит здоровье флоры, фауны и, естественно, человека. В частности, именно ослабленная иммунная система биосферы и, соответственно, человека, является основной причиной возникновения и распространения эпидемий и пандемий.

Таким образом, гумус – незаменимый биосферный ресурс и главная биосферная пища, так как одни виды микроорганизмов перерабатывают разнообразную отмершую органику в нерастворимый гумус, накапливая его в почве, а другие переводят его в растворимую форму и кормят растения.

В земной биосфере в процессе фотосинтеза ежегодно продуцируется около 200 млрд тонн сухого органического вещества (около 1 трлн тонн в живом весе) и примерно такое же количество отмирает и разрушается [17]. Если только 1 % этой ежегодно отмирающей органики (около 10 млрд тонн в живом весе) перевести в пищу путём превращения её в живой плодородный гумус (в том числе через желудки коров) и последующего выращивания на ней сельхозпродукции, то этими органическими продуктами (без применения ГМО и химии) можно прокормить всё будущее земное население в 10 млрд человек, чему дано обоснование ниже.

Только за последние 500 млн лет активного фотосинтеза (хотя жизнь на Земле зародилась более 3 млрд лет назад) биосфера произвела 200 000 000 000 т/год × × 500 000 000 лет = 10^{20} тонн (или 100 млн триллионов тонн) сухого органического вещества. Если бы эта органика не вовлекалась затем в биосферный круговорот живого вещества, то при плотности 1 т/м^3 (как у угля) слой этой органики на планете (включая водные участки) имел бы толщину около 200 км, что, например, в шесть раз превышает среднюю толщину земной коры. Поэтому очевидна мощная преобразовательная сила жизни, в том числе в геологии формирования современной земной коры и материков.

Если оценивать этот ресурс в деньгах, то минимальная стоимость произведённой биосферной продукции (сухого органического вещества и производного от него гумуса) по минимальной цене 100 USD/т составит (за последние 500 млн лет): 10^{20} тонн × 100 USD/т = 10^{22} USD (или 10 млрд триллионов USD). Такова минимальная «стоимость» органической составляющей земной биосферы, включая запасы гумуса, сапропеля, сланцев, угля, нефти, природного газа и др.

Атмосферный кислород как ресурс

В составе органики биосферы содержится 16 трлн тонн кислорода; в верхнем слое океана – 8 трлн тонн; в атмосфере – 1,4 × 10^{15} тонн, или 1400 трлн тонн (т. е. в 58 раз больше), в том числе примерно 3 млрд тонн (0,00021 %) в виде озонового слоя. При этом цикл нахождения кислорода в атмосфере – 4500 лет [18].

Ежегодный фотосинтез кислорода биосферой составляет более 310 млрд тонн. Из них ежегодно расходуется как ресурс:

- на биосферные нужды: аэробное дыхание – 230 млрд тонн; микробное окисление (гниение) – 51 млрд тонн;
- на индустриальные нужды («антропогенное дыхание»): сжигание ископаемого топлива и фиксацию азота при производстве минеральных удобрений – 12 млрд тонн (или 4 % от продуцируемого на планете кислорода);
- на прочие потери кислорода: фотохимическое окисление, химическое выветривание, фиксацию азота молниями, окисление вулканических газов и др. – около 20 млрд тонн, что, например, значительно превышает его расход на всю земную индустрию.

За последние 2,5 млрд лет эволюции биосферы в результате кислородного фотосинтеза было выработано более 5 × 10^{20} тонн кислорода (или 500 млн триллионов тонн). Выделяющийся в ходе фотосинтеза кислород кардинально изменил нашу планету, причём не только атмосферу, но и литосферу, – он практически сразу же расходовался на окисление горных пород, растворённых в океанах минеральных соединений и газов первичной атмосферы. Например, большинство современных железорудных месторождений – это последствия окисления кислородом в течение миллиардов лет растворённых в воде соединений железа и выпадения их в осадок.

Исходя из эффективности биосферы, увеличение продуктивности фотосинтеза всего на 5 % повысит производство атмосферного кислорода на 15 млрд тонн в год, что с лихвой компенсирует его расход на «антропогенное дыхание». В свою очередь увеличение продуктивности растений может быть достигнуто большим содержанием антропогенного углекислого газа в атмосфере, в том числе в результате работы реликтовых солнечных биоэлектростанций в линейных городах [2].

Вода как ресурс

Общее количество воды на планете – 1,39 × 10^{18} тонн (или 1,39 млн триллионов тонн), что в 275 раз превышает массу атмосферы, но равно лишь 1/4000 массы Земли [19]. Солёные океанические воды составляют 96,4 % объёма гидросферы; пресные воды: ледники – 1,86 %, подземные – 1,68 %, поверхностные воды на суше – 0,02 %.

Масса водяного пара в атмосфере – 14 трлн тонн (около 0,001 % массы гидросферы, или 0,27 % массы атмосферы), однако значение водяного пара для жизни на планете сложно переоценить, ведь атмосфера – главный опреснитель солёной морской воды. Анализ показывает, что с поверхности океанов испаряется в течение года 450 трлн тонн воды – слой толщиной 1,25 м [20]. Ещё 71 трлн тонн воды попадает в атмосферу, испаряясь с поверхности суши. Одновременно такой же объём выпадает обратно на поверхность планеты в виде осадков (в среднем 1020 мм в год). Именно поэтому уровень воды в океанах является стабильным и практически не меняется из-за её испарения.

Потрясает воображение тот колоссальный объём тепловой работы, который к настоящему времени был выполнен на планете нашей ближайшей звездой. За 3,5 млрд лет (с момента зарождения жизни) Солнце испарило такое количество воды на Земле, которое имел бы океан площадью, равной площади поверхности планеты, и глубиной более 3 млн км (!), что, например, в восемь раз превышает расстояние от Земли до Луны.

Не менее грандиозен масштаб преобразовательной силы живых организмов для эволюции нашей планеты, в том числе для её водного баланса, что можно осознать из следующего примера. Если бы весь кислород, вновь выработанный живыми организмами, не участвовал в биосферном круговороте, а изымался из атмосферы и расходовался только на окисление водорода и получение воды, то на Земле за год появился бы слой жидкости толщиной 0,5 мм. За 2,5 млрд лет активного фотосинтеза это образовало бы покрывающий всю Землю океан глубиной более тысячи километров (!).

Значит, не исключено, что основная часть воды на нашей планете была не принесена кометами из космоса, как это общепризнано, а образовалась путём окисления кислородом водорода, постоянно поступающего в атмосферу из земных глубин из-за дегазации ядра Земли [21].

Очевидно, что эти же процессы идут и в настоящее время, поэтому к повышению уровня океана сегодня причастны не только таяние льдов и «глобальное потепление», но и дополнительная генерация воды земной биосферой.

Человечество потребляет ежегодно около 11 трлн тонн воды, из них: из речных стоков на ирригацию – около 6 трлн тонн, на промышленные цели – 4,1 трлн тонн, бытовые нужды – 0,9 трлн тонн, что составляет всего 2,1 % от мировых осадков. Поэтому вся потребность человечества в пресной воде может быть обеспечена не только из осадков (дождя и снега), но и путём дополнительной конденсации паров воды из воздуха в месте её потребления (для уменьшения затрат на транспортировку воды). Это возможно реализовать в подробно описанных ниже линейных городах, в которых нет крупных потребителей (ни сельскохозяйственных, ни промышленных, ни бытовых), как это и было ранее в сельской местности, когда все потребности в воде удовлетворялись из небольших источников – колодцев, родников, ручьёв, неглубоких скважин.

Технологические ресурсы

Основные ресурсы для индустрии – это минеральное сырьё (руда, камень, песок и др.), энергетическое сырьё (уголь, нефть, газ и др.) и различные вещества, берущиеся из окружающей среды для осуществления технологических процессов:

- кислород воздуха как самый доступный окислитель в процессах горения топлива в двигателях внутреннего сгорания автомобилей, самолётов и кораблей, а также в тепловых электростанциях, котельных, домнах и др. Кислорода, в зависимости от вида топлива и технологии его сжигания, необходимо в 2–8 раз больше по массе, чем самого топлива (например, в два раза – для угля, в восемь раз – для водорода), а воздуха, соответственно, в 10–40 раз больше;
- вода как самый доступный универсальный растворитель и основная жидкая среда для осуществления большинства химических и технологических процессов.

Добыча невозобновляемых полезных ископаемых и строительных материалов на планете уже превысила 60 млрд тонн в год (около 8 тонн на каждого жителя) и продолжает расти. Из них руды – более 10 млрд тонн (в том числе железной – 2,4 млрд тонн и медной – около 4 млрд тонн). Производство цемента достигло 5 млрд тонн в год, бетона – 30 млрд тонн и выше [2].

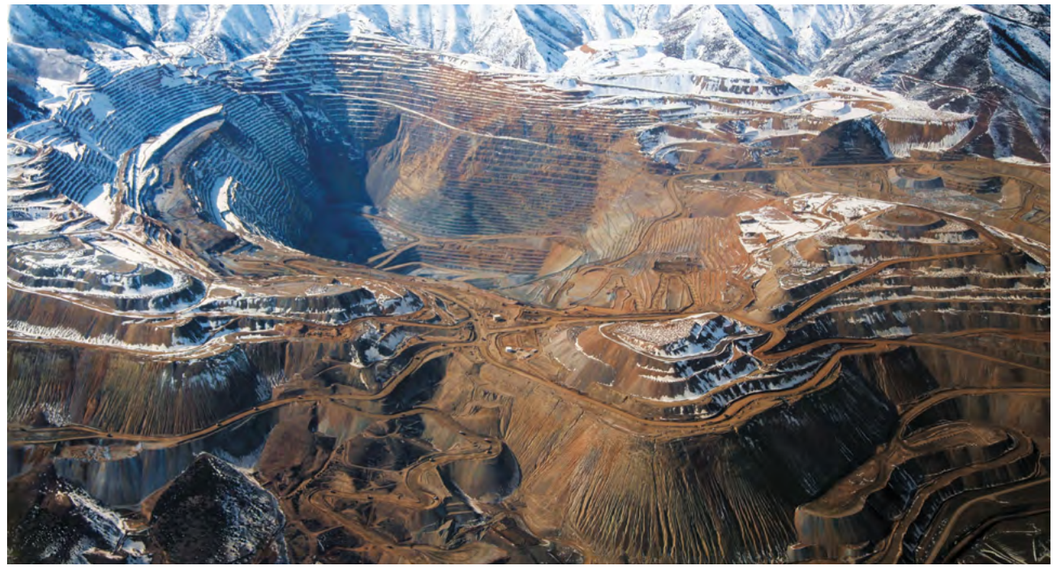
Энергетическое сырьё сейчас добывают в объёме более 15 млрд тонн ежегодно (угля – около 8 млрд тонн, нефти – 4,5 млрд тонн, природного газа, в том числе сланцевого, – более 3 млрд тонн). Топливо затем сжигается с использованием воздуха, где содержится его окислитель – кислород. При этом общая установленная мощность энергетического оборудования на планете, использующего ископаемое топливо, включая тепловые электростанции, котельные и все виды транспортных средств (автомобильный, железнодорожный, авиационный и морской транспорт, ракеты и др.), превысила значение в 100 млрд кВт. Это оборудование крайне неэффективно, избыточно по мощности и используется в среднем на 10–15 % (например, те же легковые автомобили не загружены как по мощности, так и по времени).

Добыча строительного песка на планете превысила 11 млрд тонн; щебня (камня), в том числе для изготовления бетона, – 20 млрд тонн. Количество земляных работ (с перемещением грунта на десятки и даже сотни километров) при строительстве дорог, заводов, электростанций, зданий, сооружений и других инфраструктурных объектов (в основном в городах) превысило 30 млрд тонн в год.

По оценкам автора, объём вскрышных и рекультивационных работ при добыче минерального сырья достиг 300 млрд тонн в год (при среднем коэффициенте вскрыши, равном 5 тоннам на каждую тонну добытого минерального сырья).

Таким образом, на планете ежегодно добывается, перерабатывается и перемещается на среднее расстояние в несколько десятков километров около 400 млрд тонн минералов, из них 300 млрд тонн – обычный грунт, включая скальный, идущий в отвал (на что, собственно, и расходуется основное количество топлива, потребляемое техникой). При этом отдельное сырьё и ресурсы перевозятся с помощью неэффективного, устаревшего и экологически опасного транспорта на расстояния, превышающие 10 000 км.

На всех материках индустрия наносит «земной коже» огромное количество «шрамов», в первую очередь живой плодородной почве, слой которой средней толщиной порядка 40 см равен всего 1/30 000 000 размера планеты. На тончайшей «планетарной коже» появляется всё больше и больше «фурункулов» и «язв», поэтому она и не может быть здоровой. Это огромные по площади бетонно-асфальтовые мегаполисы, многокилометровые карьеры, шахты и скважины, высокие и обширные отвалы, протяжённые насыпи и выемки дорог (общей длиной более 60 млн км – 15 000 длин экватора), меняющие рельеф местности, уничтожающие плодородие почв и ухудшающие их биогеоценоз и гидрологию (движение поверхностных и грунтовых вод). Например, только под дороги на планете уже «закатаны» в асфальт и «похоронены» под шпалами территории, равные пяти Великобританиям [22].



Ежегодная масса добываемых и перемещаемых минеральных ресурсов в биосфере планеты в настоящее время в два раза превысила генерацию живого вещества в ней (около 200 млрд тонн сухого органического вещества в год), поэтому именно здесь проявляется наибольшее воздействие техносферы на земную биосферу.

Человечество должно кардинально пересмотреть отношение не только ко всем индустриальным технологиям как таковым, но и к технологиям добычи минеральных ископаемых (а не просто к объёмам их добычи, как общепринято), а также к строительству дорог в линейной насыпи, чтобы объём добываемых и перемещаемых минералов на нашей планете был снижен по меньшей мере на порядок.

Основной потребитель индустриальных ресурсов сегодня, как минеральных, так и энергетических, – это города, которые интенсивно застраиваются и разрастаются. Там же находится и основной конечный пользователь вырабатываемой на планете энергии – от освещения, отопления и кондиционирования зданий и сооружений до сжигания топлива легковыми автомобилями или потребления электрической энергии электромобилями.

Все технологические ресурсы являются невозобновляемыми (исчерпаемыми) из-за отсутствия круговорота веществ, энергии и информации в созданной человеком техносфере. Главная причина – в ней нет мириады мириад микроскопических аналогов-роботов типа микроорганизмов в земной биосфере, работающих на атомном и молекулярном уровнях. Если бы они были, то смогли бы повсеместно на планете, в каждой точке её поверхности, замкнуть локальные трофические индустриальные цепочки, когда отходы одних инженерных технологий в каждом конкретном месте производства продукции или услуги (без всякой дополнительной транспортировки и дополнительных затрат энергии и других ресурсов) становились бы сырьём для иных инженерных технологий, а значит, индустриальные ресурсы (как и биосферные) стали бы возобновляемыми.

Таким образом, земная индустрия будет существовать, пока не переработает все необходимые ей ресурсы в индустриальные отходы, выбрасываемые в биосферу. И не важно, что произойдёт ранее (закончатся ресурсы или будет загрязнена и уничтожена биосфера), в любом из этих сценариев у любой техногенной цивилизации (не обязательно земной) нет будущего на родной планете – она неизбежно угаснет, а затем и погибнет. Причём, по ряду прогнозов, это может произойти на нашей планете уже в течение XXI в., если не будет изменён вектор цивилизационного технологического развития и не будет вынесена в космос экологически опасная часть земной индустрии. Только такой вектор развития даст доступ нашей техногенной цивилизации к неисчерпаемым ресурсам Вселенной – минеральным, энергетическим, пространственным и технологическим (невесомости, глубокому вакууму, технологической чистоте и др.) [13].

Парниковые газы в земной атмосфере и глобальный парниковый эффект

Парниковый эффект на планете обусловлен наличием в приземном слое атмосферы многоатомных газов, непрозрачных для теплового излучения, – водяного пара, углекислого газа, метана, озона, оксида азота, фреона и др.

Водяной пар, которого в земной атмосфере содержится 12,7 трлн тонн, по своему вкладу в повышение температуры на планете является самым активным парниковым газом. Его вклад в суммарный парниковый эффект на Земле, достигающий 32 °C, составляет 20,2 °C (против вклада CO_2, составляющего 7,2 °C) [23].

В настоящее время парниковый эффект на Земле в среднем до 78 % обусловлен парами воды и только до 22 % (т. е. в 3,5 раза меньше) – углекислым газом. Вкладом других газов, в том числе метана, можно вообще пренебречь [24]. При этом в переводе на одну тонну газа, содержащегося в земной атмосфере, парниковая эффективность тонны углекислого газа всего в 1,5 раза превышает парниковый эффект от тонны паров воды.

Без парниковых газов средняя температура на Земле находилась бы на уровне –18 °C, т. е. реки и моря всегда были бы замёрзшими и на суше не было бы растений (сегодня средняя температура составляет 15 °C).

Выбросы промышленного водяного пара (например, из градирен атомных электростанций) не так уж и безобидны: ведь каждая тонна пара, поступившая в приземный слой атмосферы, эквивалентна по «парниковому эффекту» 0,67 тонны углекислого газа. Поэтому экологичность АЭС – это иллюзия не только из-за проблем с радиацией, но и по климатическим факторам, так как на каждый выработанный на АЭС киловатт-час электроэнергии в приземный слой атмосферы выбрасывается 3,6 кг водяного пара. В частности, в 2015 г. только АЭС России выбросили в атмосферу 730 млн тонн водяного пара (в CO_2-эквиваленте – около 490 млн тонн углекислого газа [23]), что значительно превышает выбросы парниковых газов всем российским транспортом, в том числе автомобильным.

Дополнительные источники водяного пара, поступающего в атмосферу планеты (в млрд тонн в год): испарения из вод, используемых на бытовые нужды, – 180, испарения из промышленных вод – 800, из речных стоков на ирригацию – 5400. Суммарно в CO_2-эквиваленте (с позиций глобального парникового эффекта) это составляет более 4000 млрд тонн углекислого газа.

Учитывая, что парниковый эффект от водяного пара в атмосфере (в пересчёте на одну тонну) всего в 1,5 раза уступает CO_2, воздействие антропогенной деятельности на круговорот водяного пара и его вклад в парниковый эффект в 140 раз (!) превышает карбоновый вклад от CO_2, вырабатываемого всей земной индустрией, включая транспорт.

Таким образом, человечеству на самом деле важнее заняться сегодня оптимизацией потребления воды в быту, промышленности и особенно в сельском хозяйстве с целью организации успешной борьбы с «глобальным потеплением». Это более значимо, чем, например, по указке глобалистов перенаправлять все свои цивилизационные усилия на борьбу с «карбоновыми ветряными мельницами». Ведь совершенно очевидно, что программа декарбонизации, продвигаемая глобалистами, преследует совершенно иные цели, включая их маниакальную «озабоченность» глобальным потеплением.

О том, что углекислый газ не является главным климатообразующим фактором, свидетельствует вся многомиллионная история развития жизни на нашей планете. Например, 250–320 млн лет назад, в каменноугольном периоде, концентрация углекислого газа была вдвое ниже, чем сейчас, но средняя температура – на 10 °C выше [25]. В то время как 150–200 млн лет назад содержание CO_2 было почти на порядок выше, чем сейчас, – 0,3 %, а 400–600 млн лет назад – даже 0,6 % [26], при этом тогда не было никакого глобального потепления, наоборот, практически всю планету покрывали льды.

Безопасная карбоновая ёмкость земной атмосферы

Общая масса углекислого газа в земной атмосфере составляет сегодня 3,03 трлн тонн (около 0,038 % общей массы атмосферы планеты), из них 550 млрд тонн ежегодно растворяются в морской воде и переходят в живое вещество в результате фотосинтеза [27]. То есть в среднем весь атмосферный CO_2 участвует в углеродном планетарном цикле раз в 5–6 лет.

На создание органического вещества ежегодно расходуется около 300 млрд тонн углекислого газа, т. е. около 10 % количества CO_2, содержащегося в атмосфере [28]. Затем почти вся эта масса углекислого газа возвращается обратно в атмосферу и гидросферу в результате окисления закончивших свою земную жизнь организмов и продуктов их жизнедеятельности.

Наибольшее количество свободного углекислого газа в биосфере находится в верхнем слое океана – 140 трлн тонн, что, например, в 46 раз больше, чем в атмосфере.

Необходимо отметить, что цикл круговорота углерода в результате создания органического вещества в земной биосфере полностью замкнут. Из общей массы органического углерода, ежегодно поглощаемого растениями, только незначительная часть переходит в литосферу и выходит из этого круговорота.

Исследования показали, что текущий уровень содержания углекислого газа в земной атмосфере для эффективного фотосинтеза в 2–3 раза ниже оптимального. Об этом, в частности, свидетельствуют данные об уровнях CO_2 – в коммерческих теплицах указывают на оптимальную урожайность при его значении 0,1–0,12 % и более [25]. Исходя из этого, можно сделать вывод: недостаток углекислого газа в земной биосфере с точки зрения всего живого вещества (а не весьма ограниченного в биосферных знаниях «человека-глобалиста» – одного из триллиона видов живых организмов) составляет сотни миллиардов, если не триллионы тонн.

Увеличение концентрации углекислого газа в атмосфере на самом деле вызвано не столько промышленностью и транспортом, сколько возвращением CO_2 обратно из отложений в океане и на суше благодаря повышению средней температуры на планете (а не наоборот). В то же время это улучшает урожайность сельскохозяйственных культур, способствует росту лесов и луговых растений, а также рыбы, ракообразных, моллюсков, водорослей и кораллов в океане.

Следовательно, современный мировой уровень индустриальных выбросов CO_2 (порядка 30 млрд тонн в год, т. е. 1 % от его содержания в атмосфере) окажет влияние на парниковый эффект максимум в размере 1 % от упомянутых выше 22 % влияния углекислого газа на климат, или в общей сложности – всего 0,22 %. Это значительно ниже статистической погрешности измерений средней температуры на планете и среднего содержания CO_2 в атмосфере. Очевидно, что дополнительный парниковый эффект проявит себя только в том случае, если именно этот индустриальный углекислый газ останется в свободном состоянии, а не будет связан зелёными растениями (или «зелёными» технологиями) в промышленных регионах или не будет затем растворён в океане.

Таким образом, демонизируемый в последнее время антропогенный CO_2 совершенно безопасен для биосферы и не только не является избыточным, но даже не восполняет карбоновый дефицит в земной атмосфере.

При этом важно помнить, что сухое вещество любого организма (т. е. без учёта кислорода и водорода, входящих в состав воды любой живой клетки) примерно на 60 % состоит из углерода. Углерод является главным химическим элементом земной жизни, включая человека. Пищевая цепочка для углерода начинается именно в атмосфере, где он должен присутствовать в достаточном количестве с точки зрения эволюции живой биосферы, а не мёртвой техносферы, созданной человеческой цивилизацией, или искусственного интеллекта, которому биосфера вообще не нужна.

Энергетически безопасная ёмкость земной биосферы

Мировое потребление энергии

Мировое потребление энергии означает общее количество энергии, потребляемое цивилизацией; включает всю энергию, получаемую из всех энергоресурсов и используемую во всех промышленных и потребительских секторах мировой экономики. Мировое потребление энергии является важным показателем уровня развития техногенной цивилизации как в производственно-экономической, так и в социально-политической сферах деятельности.

Средняя плотность солнечной энергии на внешней границе атмосферы Земли составляет 1,366 кВт/м^2. Уже подсчитано, что без этой энергии, поступающей на нашу планету (при «отключении» Солнца), за неделю температура атмосферы снизится до –20 °C, за год – до –73 °C, а за несколько лет температура на Земле упадёт до –240 °C и будет сохраняться далее на этом уровне [29].

Преобладает мнение, что за последние 2000 лет, т. е. за всю новую историю, когда повсеместно появилась и интенсивно стала развиваться земная индустрия, солнечное излучение было стабильным, с вариациями в пределах 0,2 %. Такие вариации интенсивности солнечного излучения составят всего 2,732 Вт/м^2, что при площади поперечного сечения Земли в 130 млн км^2 (с учётом атмосферы) даёт колебания мощности падающей на планету внешней энергии в 350 млрд кВт. Данный показатель, например, в 167 раз превышает общую установленную мощность всех электростанций мира, равную 2,1 млрд кВт (при населении 7,8 млрд человек на начало 2021 г. это составляет на одного жителя планеты всего 0,27 кВт электрической мощности).

Будем полагать, что такие же колебания мощности дополнительной (внесолнечной) энергетической подпитки планеты со стороны техногенной цивилизации будут приемлемы в будущем и не приведут к глобальным экологическим проблемам. Тем более что мощность солнечной энергии, достигающей Земли, сама по себе нестабильна во времени из-за изменения расстояния до нашего светила (от 147 млн км в январе до 152 млн км в июле) – такие колебания в течение года доходят до 6,9 %, что, например, в 34,5 раза больше упомянутых выше 0,2 %. Кроме того, светимость нашей звезды увеличивается на 1 % (мощность солнечной энергии, достигающей Земли, вырастет при этом на 1,78 трлн кВт) каждые 110 млн лет за счёт ускоренного сжигания водорода. Поэтому через 4–5 млрд лет Солнце превратится в красного гиганта, расширится и вообще поглотит Землю [29].

Мощность современного энергопотребления с учётом атомной энергетики и сжигания углеводородов составляет более 20 млрд кВт (2,6 кВт на каждого жителя планеты). Тогда при увеличении в будущем мощности энергопотребления на душу населения до 5 кВт (т. е. при годовом потреблении энергии на душу населения в количестве 43 800 кВт·ч) с учётом её экологической оптимизации безопасная ёмкость земной энергетики составит: 350 000 000 000 кВт / 5 кВт/чел = = 70 000 000 000 человек населения планеты.

При этом не менее 1/2 указанной энергии в настоящее время потребляет непосредственно сама индустрия – транспорт, металлургия, химическое производство и другие виды промышленности, включая топливо для производства сельскохозяйственной продукции. Поэтому при вынесении экологически опасной части индустрии за пределы биосферы – в ближний космос – и оптимизации оставшихся на Земле промышленных технологий (в первую очередь транспортно-инфраструктурных, энергетических и сельскохозяйственных) энергетически безопасная цивилизационная ёмкость биосферы нашей планеты увеличится минимум в два раза, т. е. до 140 млрд человек.

При будущем земном населении в 10 млрд человек безопасная для биосферы энергетическая мощность, приходящаяся на одного жителя планеты, составит: 350 000 000 000 кВт / 10 000 000 000 чел. = 35 кВт/чел, что, например, в 13,5 раза выше нынешнего душевого энергопотребления всей земной техногенной цивилизацией.

Оптимизация биосферных энергетических ресурсов

Общемировые биосферные запасы сланцев оцениваются в 650 трлн тонн, бурых углей – 4,9 трлн тонн [30, 31]. Органическое вещество горючих сланцев образовано из биомассы преимущественно низших водорослей (сапропелевые компоненты), в меньшей степени – высших растений (гумусовые компоненты) и частично животных организмов. Содержание органического вещества, в том числе протонефти, составляет в сланцах в среднем 45 % (в разных месторождениях от 10 % до 80 %).

Массу органического вещества, содержащегося в бурых углях и горючих сланцах, можно оценить в 295 трлн тонн со средней удельной теплотой сгорания 33 МДж/кг (Qbdaf = 29–37 МДж/кг), или в среднем 9,17 кВт·ч/кг. Этих запасов горючих сланцев и бурых углей достаточно для выработки примерно 2,7 × 10^{18} кВт·ч энергии, из них 1,2 × 10^{18} кВт·ч – электроэнергии (при КПД угольной теплоэлектростанции, равном 45 %). Тогда при среднегодовой мощности душевого потребления энергии 5 кВт/чел (из них 2,25 кВт/чел – электрическая энергия, 2,75 кВт/чел – тепловая) запасы горючих сланцев на 100 % обеспечат энергией земное население в 10 млрд человек примерно в течение 5400 лет, а при 2,5 кВт/чел (после вынесения земной техносферы в ближний космос) – 10 800 лет.

Реликтовая солнечная биоэнергетика (РСБЭ)

Необходимо отметить, что энергия, запасённая в бурых углях и горючих сланцах, – это реликтовая солнечная энергия, полученная от нашего светила живыми организмами, проживавшими на планете 100–450 млн лет назад. Следовательно, горючие сланцы и бурые угли могут быть использованы не столько для генерации электрической и тепловой энергии, сколько для получения реликтового живого гумуса – основы плодородия любых почв, так как такой биогумус будет иметь тот же химический состав, что и древнее дерево, взявшее всё необходимое для жизни из древней же (реликтовой) почвы.

Предлагается сжигать горючие ископаемые не полностью, а, например, только 50–75 %. Затем отходы сгорания (золу, шлак, шлам, пыль, дымовые газы) необходимо смешать с несожжёнными 25–50 % сланцев или бурых углей (с добавлением любого сырья органического происхождения – травы, торфа, опилок, навоза, бытового мусора и др.). Полученная многокомпонентная смесь, в которой присутствует как органическое, так и минеральное сырьё, окончательно перерабатывается в живой плодородный гумус в биореакторах с помощью специально подобранных сообществ аэробных и анаэробных микроорганизмов.

Полученный реликтовый биогумус можно вносить в почву от 2–3 % – при таком его содержании даже песок пустыни станет плодородным. То есть вокруг электростанций будет создана высокоплодородная почва, на которой можно посадить, например, сады. Таким образом, побочным «отходом» работы реликтовых солнечных биоэлектростанций станут виноград, яблоки и другая сельхозпродукция.

Это легко осуществить, так как в угли и сланцы превратились в доисторические времена более 80 химических элементов, входящих в состав всех земных живых организмов, в том числе древних растений, и все они снова через восстановленную реликтовую почву дадут новую жизнь новым организмам, только через 100–450 млн лет.

Традиционные тепловые электростанции выбрасывают серу в атмосферу, вызывая кислотные дожди, убивающие всё живое на огромных территориях. Но ведь сера относится к макроэлементам и жизненно необходима всем живым организмам. Например, суточная потребность взрослого человека в сере составляет 4–5 г (в нашем организме её содержится около 100 г). Очевидно, что сера должна поступать в организм растения, животного или человека не в виде кислотного дождя, а с пищей – в виде органических соединений.

Избыточное тепло электростанций (около 55 %) будет отдано в теплицы (в жарких странах преобразовано в холод и направлено на охлаждение оранжерей). Углекислый газ не будет выброшен в атмосферу – его направят в теплицы и оранжереи, где этот углерод утилизируется растениями в пищевые углеводы, белки, жиры, витамины и другое многообразное живое вещество – в виде тысяч различных органических соединений, включающих в свой состав всю таблицу Менделеева, основная доля в которых по массе приходится именно на углерод. Необходимо отметить, что растения в теплицах будут не только поглощать атмосферный CO_2 и производить продукты питания, но и дополнительно вырабатывать кислород, необходимый для дыхания людей, живущих рядом.

Кроме того, на реликтовых солнечных биоэлектростанциях будет осуществлена глубокая переработка части углей и сланцев с целью получения из них не только плодородного гумуса (в том числе жидкого), но и синтетического топлива и широчайшего спектра химических продуктов (ароматических углеводородов, кислородных и азотистых соединений, алициклических спиртов, которые обладают водорододонорными свойствами, и др.), а также химических элементов практически всей таблицы Менделеева, включая золото (содержание в сланцах – до 40 г/т), элементы группы платины, вольфрам, молибден, редкие, редкоземельные и другие металлы.

Например, некоторые российские угли содержат (в граммах на тонну угля): иттрий – 254, скандий – 96, диспрозий – 384, гадолиний – 335, самарий – 211, лантан – 46, церий – 89, неодим – 806, что суммарно равно более 2 кг редких земель на тонну горючих ископаемых. Поэтому всю потребность России в редкоземельных металлах (порядка 10 000 тонн в год) можно закрыть, переработав всего 5 млн тонн подобных углей, а всю мировую потребность (порядка 200 000 тонн в год) – 100 млн тонн, что составляет менее 1 % от планируемых к использованию в таких электростанциях углей и сланцев.

В качестве сырья для получения химической продукции на биоэлектростанциях, размещённых в промышленных кластерах линейных городов, будут использованы не только угли (сланцы), но и продукты их горения – дымовые газы, пыль, зола, шлам, шлак. Такие технологии в России уже давно созданы. При этом чем ниже энергетическая ценность используемых углей и сланцев (т. е. чем выше их зольность), тем эффективнее и продуктивнее они станут с позиций производства на биоэлектростанциях плодородного гумуса и самых разнообразных химических элементов, продуктов и веществ. Таким образом, работающие на бурых углях и горючих сланцах реликтовые солнечные биоэлектростанции обеспечат будущие потребности земного человечества в указанных продуктах на тысячелетия вперёд.

Побочный продукт реликтовой солнечной биоэнергетики – повышение плодородия почв

Технология РСБЭ – полностью «биосферная», т. е. экологически чистая и безотходная. Такая энергетика не только не будет убивать живое, а, наоборот, создаст и станет культивировать новые жизни природными, а не природоподобными технологиями.

Из 295 трлн тонн органического вещества сланцев можно получить порядка 450 трлн тонн живого гумуса влажностью 50–60 %. Внесения до 10 % гумуса (таково среднее значение содержания гумуса в чернозёмах) в верхний плодородный слой почвы толщиной 30–40 см (примерно 30 000 т/км^2) будет достаточно для превращения в чернозёмные сельхозугодья 15 млрд км^2 земель, что превышает площадь земной суши примерно в 100 раз, а площадь всей поверхности Земли – в 29 раз.

Таким образом, всю сушу планеты земная реликтовая биосферная энергетика может превратить не в пустыню, а в цветущий сад, посаженный на самую плодородную и идеальную для жизни почву – тучный чернозём. Даже если слой чернозёма (содержание гумуса 10 % и более) будет достигать метра и выше, то сделать это не составит особого труда. Такая биоэнергетика станет для человечества фактически бесплатной, так как произведённый ею «отход» – плодородный гумус, который будет стоить на рынке дороже нефти, – окупит производство электрической и тепловой энергии.

По технологии РСБЭ, успешно проходящей апробацию в Крестьянском (фермерском) хозяйстве «Юницкого» (г. Марьина Горка, Республика Беларусь), можно производить из тонны бурого угля более 1,5 тонны гумуса. Тонна гумуса позволит вырастить примерно тонну органической пищи. Поэтому ежегодная добыча 15–20 млрд тонн бурого угля и сланцев, что всего в 2–3 раза превысит современный уровень их добычи, не только обеспечит энергией 10 млрд человек из расчёта 5 кВт/чел, но и даст возможность накормить их здоровой и полезной (и даже лечебной) пищей. Более того, это позволит остановить опустынивание планеты и ежегодно поднимать продуктивность бедных и пустынных почв до уровня чернозёма на территории более 30 млн га, что, например, превышает площадь Республики Беларусь.

Основные запасы горючих сланцев сосредоточены на территории США – порядка 450 трлн тонн, из которых можно изготовить (наряду с получением электрической и тепловой энергии) более 300 трлн тонн гумуса. Только этих запасов достаточно, чтобы обеспечить всё человечество энергией на тысячи лет вперёд и превратить (несколько десятков раз) всю планету в цветущий сад с более толстым слоем чернозёма, чем, например, в Украине. Стоимость американских сланцев как энергетического ресурса и сырья для производства биогумуса можно оценить минимум в 3000 трлн USD (при минимальной их стоимости 100 USD/т, а при 1000 USD/т – 30 000 трлн USD).

Пищевая солнечная биоэнергетика (ПСБЭ)

Биотопливо – различные виды горючих продуктов из растительного сырья, главными преимуществами которых являются возобновляемость и использование солнечной энергии, поступающей на Землю. Значит, применение биотоплива на транспорте, в промышленности и энергетике не изменит сложившийся природный энергетический баланс планеты.

Например, при урожайности 100 т/га сахарной свёклы, выращенной на высокоплодородной, обогащённой биогумусом почве, и сахаристости 18 % из корнеплодов, посаженных на 1 га земли, можно получить 10 тонн спирта – экологически чистого топлива, практически не уступающего по своим параметрам природному газу и водороду. Но спирт менее взрывоопасен, он удобен в хранении и использовании, а также более доступен.

Остальные 90 тонн свекольного сырья с каждого гектара пойдут на корм для животных и получение гумуса, который вернётся обратно в почву в качестве органического удобрения. При этом для восстановления взятых свёклой из почвы питательных веществ, направленных на выработку спирта, не потребуется внесение дополнительного гумуса, так как входящие в состав спирта углерод, кислород и водород растения возьмут не из гумуса почвы, а из воздуха (из углекислого газа) и почвенной воды (например, в указанных 100 тоннах корнеплодов содержится около 70 тонн воды).

Для ежегодного получения 1 млрд тонн спирта (примерно столько сегодня производится автомобильного бензина в мире) необходимо 1 млн км^2 посевных земель. Это, например, в 21 раз меньше площади пустынь на планете, занимающих 21 млн км^2 (без учёта полярных пустынь Антарктиды и Арктики). Следовательно, восстановив плодородие только пустынь, человечество сможет закрыть свою потребность в экологически чистом углеводородном топливе на тысячелетия вперёд и обеспечить питанием (через дополнительное производство биогумуса) миллиарды человек и животных.

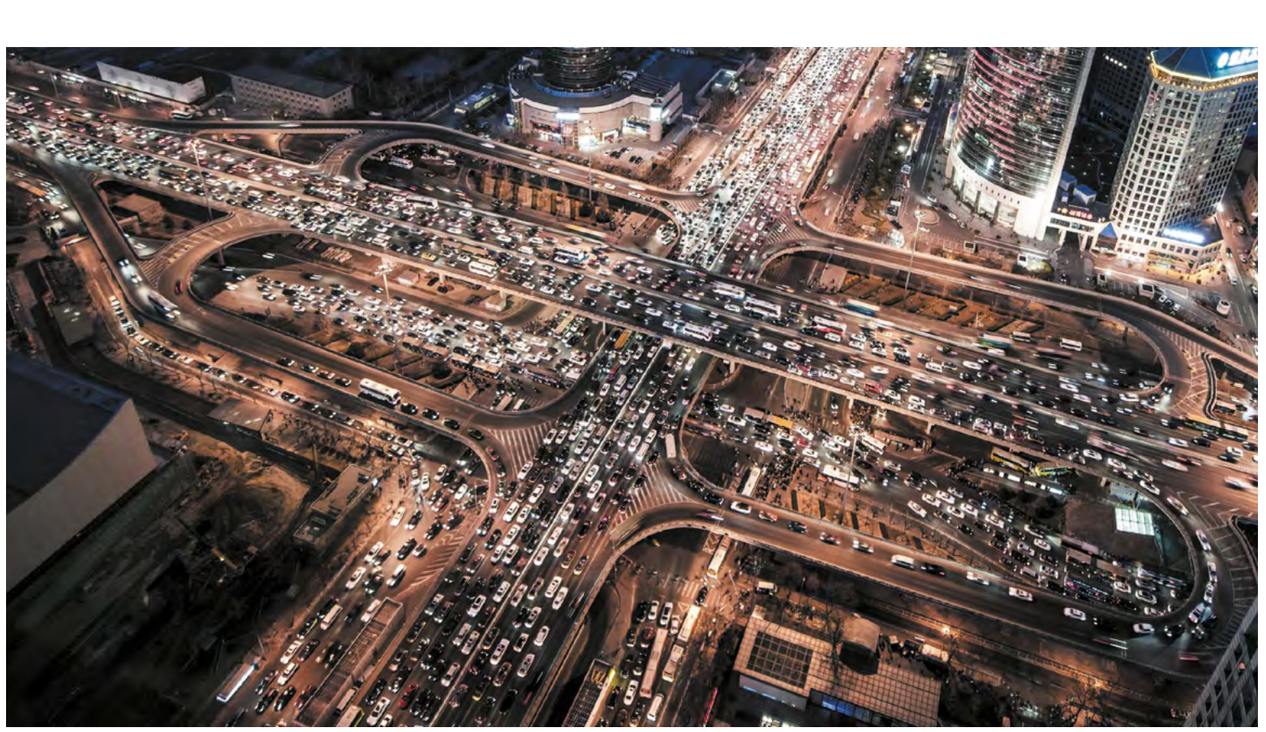
Образующиеся ежегодно 2 млрд тонн (в сухом остатке) органических отходов в технологии выработки спирта пойдут на корм скоту и получение биогумуса в биоэлектростанциях. Поэтому живое вещество снова вернётся в ту же самую почву, где была выращена, например, сахарная свёкла, при этом не только восстановив, но и обогатив (благодаря сланцам) плодородие таких сельхозугодий.

Это и есть настоящая зелёная солнечная биоэнергетика, а не экологически небезопасные ветряки и солнечные панели, которые производят только энергию, не более того, и требуют много невозобновляемых ресурсов как на своё изготовление, так и на последующую утилизацию.

Если ежегодно вкладывать в реликтовую и пищевую солнечную биоэнергетику 1 трлн USD (примерно столько же, сколько вкладывается сегодня в добычу и переработку нефти), то это обеспечит энергией всё человечество. Кроме того, это позволит ежегодно дополнительно озеленять территорию в 330 000 км^2, равную площади, например, такой страны, как Вьетнам. Необходимо отметить: биосферная энергетика увеличит общую биомассу растений на планете (так как они появятся даже на месте нынешних пустынь), что не только повысит утилизацию растениями антропогенного CO_2 и дополнительное производство пищи для людей и животных, но и увеличит производство биосферой кислорода, необходимого для дыхания 10 млрд человек и компенсации его изъятия из атмосферы земной промышленностью, в том числе и реликтовой биоэнергетикой.

Инфраструктура проживания и расселения

Как планировка современных городов, так и логистика в них, а также здания и сооружения не отвечают условиям безопасного, устойчивого и комфортного проживания. Города на планете строились и развивались стихийно. Сначала сотни и тысячи лет назад между отдельными жилищами были протоптаны пешеходные тропинки, затем они мостились булыжником, по которому перемещался гужевой городской транспорт. Позже на булыжник положили асфальт – по нему поехали автомобили. Вокруг асфальта начали строить небоскрёбы. Так и появились современные мегаполисы, в которых жить стало невозможно. О каком комфорте может идти речь, если до работы в некоторых городах нужно добираться на нескольких видах транспорта в течение 3–4 часов – половину свободного времени, которым располагает городской житель?



Современная инфраструктура проживания, особенно мегаполисы, построена не для людей, а для машин, в первую очередь для автомобильного транспорта, который насчитывает сегодня более миллиарда только легковых автомобилей. Пробки на дорогах, смог, сильнейший шум от движения городского транспорта, грязный воздух, почва, пропитанная сотнями канцерогенов (выхлопными газами, антиобледенительными реагентами, продуктами износа шин и асфальта). Улицы, дворы, наземные, надземные и подземные гаражи и стоянки забиты миллионами автомобилей.

Города на планете заняли огромные площади, причём на лучших землях. Эти территории выведены из биосферных жизненных циклов, так как застроены зданиями, сооружениями, городскими дорогами, инфраструктурой. Например, самый большой в мире по своим размерам китайский город Чунцин (82 400 км^2) по площади практически сравнялся с такой страной, как Австрия (83 800 км^2).

Значительная часть суши на планете (причём также её лучшие земли) сегодня «закатана» в асфальт и «похоронена» под шпалами – она равна площади пяти Великобританий [22]. Плодородная почва, прилегающая к дорогам, деградирована на территории на порядок большей. Из-за несовершенства транспорта ежегодно гибнут на дорогах около 1,5 млн человек (с учётом послеаварийных смертей в больницах) и сотни миллионов, если не миллиарды, крупных и мелких животных; более 10 млн человек попадают в аварии, получают травмы, становятся инвалидами и калеками.

До конца XXI в. на дорогах мира могут погибнуть более 100 млн человек, а около миллиарда будут искалечены. Электромобили – модный тренд на транспорте – не спасут эти жизни в будущем, а точно так же продолжат убивать и калечить людей на дорогах. Но эти жизни можно спасти, а земли – вернуть землепользователям, если изменить структуру расселения и проживания городских жителей, сделать города пешеходными, а транспорт перенести на второй уровень – на высоту порядка 10 м.

Линейный город

Альтернативой современным мегаполисам станут линейные города, гармонично вписанные в окружающую среду любой природно-климатической зоны на планете [32, 33], – они не только не отнимут под застройку плодородную землю, но и дополнительно создадут её. Города, обеспеченные всем необходимым собственного производства – чистой энергией, органической пищей, артезианской (родниковой) питьевой водой. Города, благодаря которым с планеты исчезнут пустыни, и Земля в XXI в. преобразится в цветущий сад, в котором безопасно и комфортно будет жить и трудиться всё будущее человечество.

Линейные города целесообразнее размещать на 10 м выше нынешнего уровня океана. Если в отдалённом будущем, через сотни лет, его уровень поднимется (и не важно, это произойдёт из-за естественного циклического глобального потепления или потепления, вызванного человеческой деятельностью), то океан не затопит такие поселения.

Линейный город будет выполнен в форме пешеходных кластеров, соединённых друг с другом городским электрическим коммуникатором «второго уровня», движущимся со скоростью до 150 км/ч, – Струнным транспортом Юницкого как наиболее безопасным, энергоэффективным и экологически чистым видом пассажирских и грузовых перевозок [1].

Через линейный город или параллельно ему пройдёт транспортно-коммуникационный коридор uNet шириной порядка 100 м – высокоскоростные воздушные трассы ЮСТ (скорость до 500–600 км/ч), гиперскоростные трассы uMach (скорость до 1200–1500 км/ч), размещённые в форвакуумных тоннелях, и грузовые системы [22].

Чтобы обеспечить комфортное движение, при котором центробежные ускорения должны быть ниже 1 м/с^2, радиусы кривых на трассах (как вертикальных, так и горизонтальных) при скорости движения 500–600 км/ч должны быть не менее 20–25 км, а для 1200–1500 км/ч – не менее 120–150 км. Соответственно, линейный город может быть извилистым, а высокоскоростные трассы вдоль него – в обязательном порядке максимально прямолинейными.

При средней плотности расселения вдоль линейного города, равной, например, 2000 чел/км, для проживания 10 млрд человек общая длина городов (построенных вдоль коммуникационной сети uNet, совмещённых с реликтовыми солнечными биоэлектростанциями, линиями электропередач и связи) составит 5 млн км. Тогда сеть линейных городов займёт на планете площадь порядка 5 млн км^2, или 1/27 земной суши (без учёта самого холодного континента – Антарктиды), а 26/27 суши могут быть отданы национальным паркам, заповедникам, заказникам и резервациям со щадящими режимами землепользования.

Кстати, площадь пустынь на планете (без учёта полярных пустынь Антарктиды и Арктики) – в четыре раза больше [34]. То есть если озеленить пустыни и построить только там линейные города, то в них смогут проживать 40 млрд человек, обеспеченных всем необходимым – жильём, пищей, питьевой водой, энергией, транспортом, работой, отдыхом, рекреацией. Это ведь будет значительно проще и дешевле сделать всем нам, чем, окончательно истощив, загадив и угробив нашу родную планету, лететь на далёкий, холодный и чужой Марс, чтобы влачить там жалкое существование в скафандрах без местной органической пищи, свежей питьевой воды и живительного воздуха.

При этом такие линейные города займут сушу условно, так как на крышах всех зданий и сооружений (в теплицах и оранжереях) будут расти сады. Там будут созданы природные биогеоценозы и биосферные экосистемы – даже на месте нынешних пустынь и вечной мерзлоты.

Общая длина сети uNet с учётом поперечных линий и дорог «второго уровня», заходящих в охраняемые природные территории и месторождения природных ресурсов, достигнет в таком случае примерно 10 млн км (для сравнения: общая протяжённость мировой сети всех типов дорог составляет сегодня 68,9 млн км [35]).

Рядом с жилыми кластерами вдоль или поперёк линейного города будут расположены инфраструктурные кластеры иной функциональности: научные, учебные, производственные, спортивные, торгово-развлекательные, рекреационные и др. Для улучшения логистики и обслуживания производств, в том числе реликтовых солнечных биоэлектростанций с большим объёмом грузовых перевозок сырья и гумуса, инфраструктурные кластеры могут быть размещены вне жилой зоны – в зоне транспортно-коммуникационного коридора uNet. Требуемый объём перевозок по грузовой составляющей мировой сети при этом – порядка 10 млрд тонн в год сланцев и бурого угля и примерно столько же плодородного гумуса.

Средняя скорость движения общественного городского транспорта – юнимобилей (рельсовых электромобилей на стальных колёсах; англ. – uPod) – составит в линейном городе 60–80 км/ч и более. Не имеющий помех для движения (перекрёстков и пешеходных переходов, автомобилей, трамваев и автобусов, снежных или песчаных заносов, луж на проезжей части и др.), это будет самый безопасный и на порядок более скоростной городской общественный транспорт в мире. Так, наиболее быстрый транспорт сегодня – в г. Берлине, где его средняя скорость составляет 6,5 км/ч (для сравнения: в г. Вашингтоне – всего 2,8 км/ч) [36].

Струнный транспорт Юницкого с рельсо-струнной путевой структурой провисающего типа является самым энергоэффективным типом городских дорог из всех теоретически возможных, так как в нём автоматически происходит рекуперация энергии при движении от станции к станции. При выезде со станции юнимобиль разгоняется на спуске до расчётной скорости (например, 100 км/ч в середине пролёта) только за счёт гравитации, т. е. без использования двигателя. На второй половине пути юнимобиль, двигаясь вверх, тормозится гравитацией, т. е. без использования тормозов.

В такой системе функционирования, похожей на колебания маятника, потенциальная энергия юнимобиля автоматически переходит в кинетическую и наоборот согласно законам физики, а не с помощью механических рекуператоров, имеющих, как правило, низкий КПД. Энергия здесь необходима лишь для преодоления аэродинамического сопротивления и сопротивления качению стального колеса, что примерно в 5–7 раз меньше, чем требуется при движении традиционного городского транспортного средства (автобуса, трамвая, поезда) по горизонтальному пути. Поэтому для выполнения аналогичной транспортной работы сеть городских трасс ЮСТ, размещённых на втором уровне, потребует в 5–7 раз меньше энергии, чем обычная городская транспортная сеть «первого уровня» подобной протяжённости и производительности.

Путевая структура ЮСТ выполнена таким образом, что в неё будут «зашиты» электрические и информационные сети, обеспечивающие электроэнергией и связью нужды как кластеров, так и линейного города в целом со всей инфраструктурой – социально-культурной, торгово-развлекательной, научно-промышленной, иной.

Каждый кластер будет иметь одну или несколько размещённых вне жилой зоны реликтовых солнечных биоэлектростанций общей мощностью 10–20 МВт (в зависимости от количества жителей кластера), которые смогут производить в течение года до 50 000 тонн плодородного гумуса. Это позволит, например, ежегодно превращать до 1 км² пустыни (соразмерно площади среднего жилого кластера) в плодородную землю типа чернозёма. Таким образом, за 50 лет функционирования общепланетарный линейный город сможет обеспечить повышение плодородия почв до уровня тучного чернозёма на всей земной суше, включая горы и пустыни.

Кластер линейного города

Кластер площадью 1–2 км² (размерами в плане порядка 1–1,5 км) планируется выполнить как пешеходное поселение городского типа. В нём будут комфортно проживать от 2000–3000 (из расчёта 500 м² земли на человека, или 25 соток на среднюю семью из пяти человек) до 7000–10 000 жителей (200 м²/чел, или 10 соток на семью). Кластер спроектирован для строительства на суше, но при незначительных изменениях может быть возведён и на шельфе моря или (при выполнении зданий и сооружений плавучими) в открытом море.

Размеры кластеров обусловлены необходимостью соединения их центров друг с другом городским ЮСТ провисающего типа – одним пролётом, без промежуточных опор. Известно, что в городском транспорте частые остановки (менее чем через 1 км) существенно снижают среднюю скорость движения подвижного состава, а значит, приводят к увеличению продолжительности поездки. А в линейном городе на пролётах длиной более 1,5 км рельсо-струнная путевая структура будет чрезмерно провисать (под собственным весом и весом подвижного состава), что потребует размещения пассажирских станций на высотах 50 м и более. Поэтому и размеры кластера в плане, и длины пролётов в пределах 1–1,5 км являются оптимальными как с точки зрения пешеходной и транспортной городской логистики, так и по технико-экономическим показателям.

Жилая зона будет разбита на кварталы, разделённые лесопарковой полосой шириной 100–200 м, где расположатся места общего пользования для жителей кластера и гостей: зоны досуга и спорта, различные общественные здания и сооружения, спортивные площадки, стадион, оздоровительный центр, медицинский пункт, магазины, кафе, мастерские, детский сад, школа и др.

В центре кластера будет размещено высокое здание-доминанта со станцией ЮСТ на одном из этажей (или на крыше) в пределах пешеходной доступности (путь к нему с любой точки кластера занимает менее 10 мин). По центру лесопарковой полосы на высоте более 10 м пройдёт рельсо-струнная путевая структура (визуально лёгкая и ажурная, не дающая даже тени), которая при той же производительности будет дешевле традиционного подземного метро минимум в 10 раз.

По воздушным рельсам беззвучно поедет подвижной состав скоростного небесного метро – рельсовые электромобили на стальных колёсах, получившие название «юнимобиль», которые энергоэффективнее традиционного электромобиля, т. е. «зеленее» его, минимум в три раза. Высота безопасного движения подвижного состава в самом низком месте трассы (в середине провисающего пролёта, а именно в промежутке между соседними кластерами) составит не менее 6 м до низа движущегося подвесного юнимобиля.

Жилые дома будут объединены в единую архитектурно-функциональную систему – в многоквартирный «горизонтальный небоскрёб» (т. е. высотный дом, «лежащий на боку»). Размеры «небоскрёба», в том числе его длина, могут варьироваться в достаточно широком диапазоне – от 100 м до 1 км. Каждый дом жилой площадью 100–300 м² рассчитан на среднюю семью из пяти человек. Дома будут иметь три этажа – цокольный, жилой и мансарду.

Здания целесообразнее выполнять каркасными с панелями из вакуумного стекла (ноу-хау автора) – теплоизоляционные свойства таких панелей толщиной 20 мм эквивалентны кирпичной стене толщиной 1,5 м. При необходимости такие панели трансформируются в экраны, на которые можно вывести любые изображения. Основного материала для строительства – песка – на планете хватит на триллионы таких «небоскрёбов».

Каждый «горизонтальный небоскрёб» кластера будет выполнен по энергоэффективности как «дом плюс энергия» (по европейской классификации), когда дом с помощью установленного на нём инженерного оборудования (солнечных батарей, коллекторов, тепловых насосов, рекуператоров и др.) вырабатывает больше энергии, чем потребляет.

Традиционные дороги в кластере будут выполнены «зелёными» (из ячеистого бетона с травой) и совмещены с пешеходными и велосипедными дорожками с возможностью проезда лёгких электромобилей. Предусмотрен проезд и более тяжёлых традиционных автомобилей, таких как скорая помощь, пожарная машина, сельскохозяйственная техника. Между домами ко всем приусадебным участкам будут проложены грунтовые дороги (с травяным покрытием).

Таким образом, каждый кластер – самодостаточное поселение городского типа, хотя по организации проживания скорее относится к сельским поселениям. Он будет обеспечен всем необходимым собственного производства – едой,

водой, энергией, транспортом, а также различными услугами. Это гарантирует продовольственную, энергетическую, экологическую, инфраструктурную, социальную и иную безопасность линейного города даже в условиях пандемий и локдаунов, других природных и рукотворных стихийных бедствий.

Оптимизация городской планировки и застройки, а также зданий, сооружений и инфраструктуры («линейных небоскрёбов», дорог на первом и втором уровнях, придомовых территорий и общих земельных участков, инженерных сетей, благоустройства и др.) обеспечит снижение стоимости жилья и проживания в линейном городе в 2–3 раза по сравнению с традиционной городской застройкой при одновременном повышении качества жилой среды и уровня жизни горожан.

Пищевая ёмкость биосферы

Производство пищи для человечества

Общая сухая биомасса биосферы оценивается в 2,4 трлн тонн, из которых более триллиона тонн приходится на углерод [17]. При этом основная биомасса на планете – зелёные растения суши, в то время как суммарная масса остальных живых организмов (животных и микроорганизмов на суше и в океане, а также водных растений) составляет всего 38–46 млрд тонн (менее 2 %), учитывая подземную биомассу, находящуюся на глубинах до 5 км.

Современное человечество имеет около 350 млн тонн биомассы в живом весе (около 45 кг на одного человека с учётом детей), или около 100 млн тонн в пересчёте на сухую биомассу (около 13 кг/чел), что равно примерно 0,004 % всей биомассы Земли.

Большая биомасса и многообразие сухопутных живых организмов объясняются наличием гумуса – сложного органического вещества, благодаря которому любая почва становится плодородной. В самых плодородных почвах – чернозёмах – гумуса содержится до 10–15 %.

Основа производства органической пищи для человека – живая плодородная почва.

Среднестатистический человек (с учётом всех возрастных групп) съедает в год около 700 кг пищи, или в переводе на сухое вещество – примерно 150 кг. В результате обмена веществ практически такую же массу отходов каждый человек выделяет в окружающую среду, в первую очередь через свою пищеварительную систему. Если эти отходы, преобразованные в гумус, внести обратно в почву, на которой был выращен урожай, то будет восстановлен природный круговорот живого вещества, нарушенный современным человечеством.

В настоящее время пища растёт в одном месте, а отходы образуются в другом, за тысячи километров. При этом ежегодный вынос питательных веществ из живой плодородной почвы на планете (а это миллиарды тонн) не компенсируется,

так как в почву обратно вносятся в основном только три химических элемента (азот, калий, фосфор), хотя растения при своём росте берут из неё практически всю таблицу Менделеева. Причём в почву сельхозугодий вносятся произведённые промышленностью простые и растворимые химические удобрения, а не созданные жизнью сложные органические нерастворимые гуматы, как это и было в течение сотен миллионов предшествующих лет эволюции жизни и земной биосферы.

Производство сельскохозяйственной продукции в линейном городе

Невозможно представить себе настоящий экодом без производства для нужд каждого домохозяйства разнообразной органической пищи – овощей, фруктов, мяса, молока, яиц, грибов, рыбы и др.

Крыши домов (мансарды) «горизонтального небоскрёба» в каждом кластере линейного города будут выполнены в виде стеклянных теплиц (в жарких странах – оранжерей), которые объединены друг с другом и имеют по центру дорогу на всю длину «горизонтального небоскрёба» для проезда обслуживающей техники. Цокольный этаж, установленный на общем фундаменте на всю длину «небоскрёба», также будет иметь по центру дорогу для обслуживающей техники. Это позволит выращивать не только овощи и фрукты в теплицах (оранжереях) на крыше, но и на цокольном этаже – морепродукты и рыбу, как морскую, так и пресноводную, а также грибы, птицу и другую продукцию для употребления в пищу. При этом обслуживание закрытой сельскохозяйственной зоны может быть общим для каждого «небоскрёба» – нанятыми домохозяйствами садовником и агрономом.

Микрозелень и зелёная пища для жителей кластера линейного города (для людей и животных) будут производиться в теплицах и оранжереях, в том числе выполненных в виде вертикальных ферм. По этой технологии в корневую систему растений подаётся раствор с питательными веществами; из посаженных семян в течение 5–7 суток вырастают зелёные побеги. Такая технология является природной в отличие от традиционной природоподобной гидропоники, использующей химические минеральные вещества, так как эволюционно растения сформированы под питание органическим гумусом.

Гумус – нерастворимые соли гуминовых кислот, запасённые в почве, – преобразуется в растворимую форму сообществом из тысяч видов аэробных и анаэробных почвенных микроорганизмов непосредственно в корневой системе растений. Поэтому в агрофермах линейного города будет использована гумусопоника – по данной технологии растения питаются жидким гумусом, в котором нерастворимые соли гуминовых кислот уже переведены в растворённую форму. Такие эксперименты успешно осуществлены в Крестьянском (фермерском) хозяйстве «Юницкого» в г. Марьина Горка.

Микрозелень, культивируемая на гумусопонике, – натуральная органическая пища, изначально богатая легкоперевариваемыми питательными веществами и витаминами; в технологии её выращивания отсутствуют химические удобрения, химические средства защиты (пестициды, гербициды и другие ядохимикаты) и ГМО. Например, по сравнению с сухим кормом для животных (комбикормом, луговым сеном) гумусопонный корм из проростков пшеницы лучше усваивается, является более энергоёмким и содержит в 2–3 раза больше белков и жиров, а по содержанию углеводов, сахара и витаминов превосходит сухой корм в десяток раз. Он также намного полезнее и эффективнее свежей травы и силоса. В отличие от другого корма, съедаемого не на пастбище, этот корм поступает в живом виде на пике своего роста, сохраняя все витамины и пищеварительные ферменты, которые так необходимы животным, особенно в зимний период.

Ещё одна принципиальная разница: животное съедает не только надземную часть, но и богатую сахарами и белками корневую часть, а также остатки семян, содержащие крахмал. При этом в качестве подложки можно использовать

различные органические отходы, образующиеся в кластере: солому, жмых и даже специально подготовленную древесную щепу, которые микроорганизмы и корни растений переводят (ферментируют) в легкоусваиваемое питание. В результате получается сбалансированный, полноценный и стабильный по своему составу и качеству корм, обеспечивающий поступление всего многообразия необходимых питательных веществ травоядным животным.

Вне зависимости от времени года и природно-климатических условий (засухи, проливных дождей, жары и морозов) гумусопонные установки смогут круглогодично обеспечивать не только животных, но и людей свежей зелёной пищей, что особенно важно при авитаминозе в зимний период.

Для выращивания тонны зелёного корма требуется около 2 тонн воды, в то время как при традиционном полевом способе – 400 тонн, т. е. в 200 раз больше. На традиционную заготовку кормов для крупного рогатого скота нужно иметь примерно гектар земли на одну голову, а в предлагаемой технологии на круглогодично действующих вертикальных гумусопонных фермах, устроенных, например, на цокольных этажах зданий и сооружений, необходимо около 1 м^2 пола, т. е. в 10 000 раз меньше. При этом исключены (причём на бóльших в 10 000 раз природных территориях) механическая обработка почвы и внесение удобрений, а также такие операции, как посев, жатва, сбор урожая, транспортировка, сушка и др.

Круглогодичное производство сельскохозяйственной продукции в теплицах в условиях защищённого грунта, например сегодня в Нидерландах, даёт усреднённую урожайность до 50 кг/м^2 в год. Тогда для обеспечения семьи из пяти человек фруктами, овощами, ягодами и зеленью достаточно иметь до 100 м^2 площади теплиц. Если разместить теплицы на крышах «горизонтальных небоскрёбов», т. е. заменить традиционные крыши на круглогодично действующие теплицы (в жарких странах – на оранжереи), то каждый дом способен прокормить живущую в нём семью растительной пищей. При этом такое здание не уничтожает природную почву, поскольку она из-под фундамента дома (даже если это песок пустыни) будет перенесена на крышу, обогащена гумусом и станет более «зелёной», т. е. более продуктивной.

На цокольном этаже «горизонтального небоскрёба» (т. е. в каждом доме) будут выращиваться также грибы, рыба, морепродукты, мелкие животные (например, кролик) и птица (например, перепёлка).

Для расселения 10 млрд человек в описанных линейных городах понадобится 2 млрд жилых экодомов, если принять, что условная средняя семья насчитывает пять человек. При максимальной расчётной площади теплиц (40 м^2 на человека) эти экодома займут территорию не более 400 000 км^2, или всего лишь 1/337 земной суши (без учёта Антарктиды), или 1/1275 поверхности планеты (дома могут быть выполнены плавучими и размещены на воде, морском шельфе). Подобные экодома занимают сушу условно, так как площадь живой плодородной почвы на планете при этом не уменьшится, а, наоборот, увеличится – она появится на крышах поселений даже на месте сегодняшних пустынь и вечной мерзлоты.

Производство мясной продукции и биогумуса

Рассмотрим производство органического мяса на примере крупного рогатого скота, так как коровы якобы наносят экологии Земли значительно больший ущерб, чем, например, автомобили и самолёты, вместе взятые. Такой вывод сделали специалисты Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (Food and Agricultural Organisation – FAO) [37]. По данным FAO, на Земле живут около 1,5 млрд коров, которые якобы выделяют 18 % от 100 % парниковых газов, что действительно превышает уровень выбросов всего транспорта планеты.

На самом же деле эти 18 % взяты от 22-процентной части парниковых газов – от углекислого газа. То есть их влияние равно всего лишь 0,18 × 22 % = 4 %, так как основные парниковые газы – пары воды – почему-то в расчёт не были приняты, хотя значимость H_2O в создании парникового эффекта в земной атмосфере, как отмечено выше, в 3,5 раза больше, чем CO_2.

Корова съедает в год около 20 тонн зелёного корма и производит примерно 20 тонн навоза. Соответственно, для всех 1,5 млрд коров в мире понадобится порядка 30 млрд тонн корма; от них будет получено 30 млрд тонн навоза, или в пересчёте на сухое вещество – по 7,5 млрд тонн, или 1/26 биомассы, продуцируемой биосферой.

Эта ежегодно отмирающая биомасса, та же трава, независимо от того, съела её корова или нет, всё равно была бы переработана биосферой в течение сезона в гумус – теми же самыми микроорганизмами, что и в желудках коров, с выделением тех же самых и в тех же количествах сопутствующих газов, в первую очередь метана и CO_2.

Так что коровы никоим образом не меняют биосферные процессы и не наносят ущерба Живой Природе, так как биосфере совершенно безразлично, где была переработана эта органика с поглощением кислорода и выделением метана и CO_2 – в почве или пищеварительной системе животного. При этом корова ускоряет процессы переработки органики в гумус, так как живая биофабрика превращает сухую траву в практически готовый биогумус в течение суток, а в почве эти же процессы занимают несколько месяцев.

Каждая корова производит несколько продуктов, среди которых прибавочная стоимость её биосферного отхода – навоза и мочи как органического сырья для изготовления гумуса – соизмерима со стоимостью производимого ею молока и мяса.

Одна корова ежегодно способна поставить в составе природного органического удобрения 100 кг азота, 50 кг калия и 140 кг фосфора с почти 100-процентной усвояемостью в почве [38]. Кроме замещения выносимых растениями из почвы питательных компонентов все виды навоза повышают содержание гумуса в почве и восстанавливают плодородный слой любых угодий.

Таким образом, демонизация органической говядины в материалах некоторых исследователей, в том числе под эгидой ООН, является всего лишь заказной работой по переводу человечества на употребление синтетического мяса в интересах производителей этого опасного для здоровья продукта питания.

Упомянутые 30 млрд тонн навоза, преобразованные ежегодно в живой плодородный гумус, например, в реликтовых солнечных биоэлектростанциях, будут стоить на мировом рынке порядка 10 трлн USD. Эти 30 млрд тонн биогумуса позволят производить столько органической сельхозпродукции (в первую очередь в линейных городах), сколько будет достаточно для того, чтобы прокормить более 20 млрд человек.

Автомобиль же не производит ничего полезного, кроме транспортной услуги, а его индустриальные отходы (выхлопные газы, продукты износа шин и асфальта, антиобледенительные соли и др.) содержат более 100 канцерогенов, способных отравить всё живое на планете на территориях, превышающих, например, площадь Великобритании в десятки раз. Поэтому сравнение коровы и автомобиля с позиций опасности для биосферной среды обитания не только некорректно, но и кощунственно.

Утилизация отходов жизнедеятельности цивилизации (трофическая ёмкость и техногенная биоэкология)

Человек в среднем выделяет в сутки 1,5 кг мочи и фекалий, содержащих большое количество питательных веществ, которые включают практически всю таблицу Менделеева. Эту жидкость нельзя выводить из туалета непосредственно в землю, где она будет перегружать почву и может попасть в грунтовые воды или ближайшие водоёмы.

Образующиеся на кухне пищевые отходы – от банановой и картофельной кожуры до костей и чешуи рыбы – составляют по массе до половины употребляемой пищи. Все эти органические отходы могут быть отделены от воды, например, в сухой канализации, что даст ежегодно примерно 150 кг сухого органического вещества отходов на каждого человека – примерно столько же по массе, сколько он употребляет в пищу.

Значит, человек своими отходами может прокормить себя, если в том месте, где он проживает, все отходы органического происхождения, включая канализационные стоки, станут перерабатываться в гумус, которым будет обогащена приусадебная почва – и на ней вырастет новая пища. Это возможно выполнить экологически чисто, если использовать туалет и канализацию, где органические вещества отделяются от воды.

В линейном городе вода, попадающая в канализацию (в среднем на одного человека – около 50 тонн в год горячей и холодной воды), может быть применена в дальнейшем для технических нужд и полива приусадебного участка (например, на выращивание тонны яблок на открытом воздухе расходуется около 700 тонн воды). При этом в такой воде останутся только растворённые минералы и органические удобрения, в основном из мочи и фекалий, в количестве менее 0,01 %. Эти органические вещества в такой концентрации совершенно безопасны для почвы. Более того, они повысят её плодородие и урожайность органической продукции на приусадебном участке. Как это и было в доиндустриальную эпоху, когда все органические отходы в хозяйстве, в том числе от домашних животных, утилизировались непосредственно на приусадебном участке.

Отделение воды от растворённого органического вещества в канализационных стоках значительно проще осуществить, чем, например, опреснение морской воды, содержащей в сотни раз больше минеральных солей (около 3 %), молекулы которых намного меньше молекул органических веществ. Поэтому современные технологии опреснения воды могут быть использованы также при переработке канализационных стоков для регулирования содержания в них растворённых веществ и отсекания патогенной микрофлоры и микрофауны, имеющих ещё большие размеры.

Для 10 млрд человек это составит ежегодно 1,5 млрд тонн сухого органического вещества отходов (менее 1 % от продуцируемого биосферой живого вещества в сухом весе) и 500 млрд тонн в год канализационной воды, которая будет задействована многократно, в первую очередь для производства сельскохозяйственной продукции в линейных городах. При среднемировом количестве осадков около 1000 мм в год и средней площади земли в линейном городе, например, 300 м^2 на человека, повторно используемая вода из канализации (50 тонн в год на человека) составит 1/6 осадков и станет эффективной биодобавкой, повышающей плодородие почв на приусадебных участках.

Биологически безопасная ёмкость биосферы для техногенной человеческой популяции

На планете в настоящее время живут порядка триллиона видов живых организмов, из которых изучены менее 0,0001 %: животных, растений, грибов и микроорганизмов (микробов, вирусов, бактерий, простейших и др.). При этом на немикроскопические виды (видимые невооружённым взглядом) приходится не более миллиона видов [12]. Все эти живые существа обитают в нашем общем доме – биосфере планеты Земля – миллионы, а некоторые и миллиарды лет. В ходе эволюции здесь всё идеально подогнано друг к другу, поэтому в земной биосфере всё гармонично устроено, нет ничего лишнего и полностью отсутствует необходимость что-либо «улучшать».

Нам не нужно бороться с микроорганизмами, нам нужно научиться сосуществовать вместе с ними. Любую войну, объявленную микробам, мы проиграем. Ведь в нашем организме живут более 10 000 видов бактерий, вирусов, архей и грибов – микробиом человека насчитывает порядка 100 трлн бактериальных клеток. Они составляют сверхсложную экосистему человека и являются основой его иммунной системы, особенно микробиота кишечника, включающая преимущественно почвенные микроорганизмы. Собственных клеток у человека значительно меньше – около 30 трлн, поэтому существует риск навредить им, так как невозможно бороться с одним-единственным представителем нежелательных вирусов (например, с COVID-19), не нарушая сложившийся в течение миллионов лет симбиоз человеческого организма с триллионами полезных микроорганизмов тысяч видов, живущих в нём.

Прописанное врачом лекарство не лечит, скорее, калечит. Важнее не само лечение, а недопущение заболеваний путём укрепления иммунной системы, которая является нашим универсальным лекарством. Для этого требуется: здоровый образ жизни, как физической, так и духовной; правильное и здоровое питание, полученное на живой плодородной почве без применения химических удобрений и ядохимикатов; живая природная слабоминерализованная питьевая вода родникового типа; чистый воздух, насыщенный фитонцидами целебных растений и цветов.

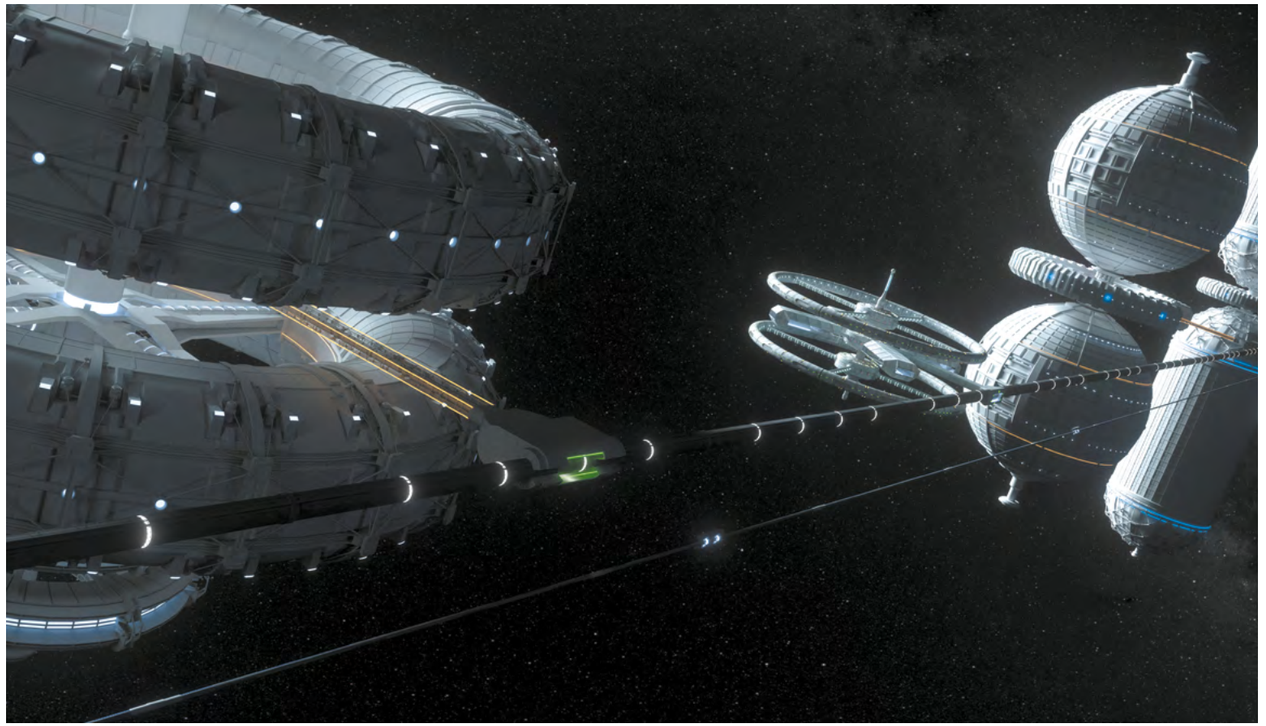
Даже если на планете будут жить и трудиться 100 млрд человек, то их биомасса составит всего 0,05 % биомассы всей земной биосферы. И это никоим образом не приведёт к глобальным проблемам, если, конечно же, человечество перестанет бороться с природой, начнёт сосуществовать с ней как один из биологических видов по сложившимся за миллиарды лет эволюции биосферным законам.

Проблемы порождает не само человечество как живое вещество, а созданная им мёртвая техносфера, которая, как и раковая клетка больного человека, уничтожает своего хозяина, в данном случае – биосферу, которая занимает ту же пространственную нишу. А нынешнее человечество больно́ системно, и если его не лечить, опять же системно, то оно погибнет в обозримой перспективе.

Цивилизацию, которую мы знаем и частью которой являемся, можно не только спасти, но и установить драйвер её устойчивого развития на тысячелетия вперёд, если вынести индустриальную часть земной техносферы в ближний космос. А на Земле создать рай и посадить сады, в том числе на месте нынешних пустынь, которые способны прокормить десятки миллиардов человек. При этом оставшуюся на планете часть техносферы необходимо сделать дружественной биосфере.

Для этого следует перестроить (перезагрузить):

- **сельское хозяйство.** Его нужно локализовать в местах проживания людей, в шаговой доступности, сделав высокопродуктивным на живом плодородном гумусе, полностью природном и органическом – без применения химических удобрений, ядохимикатов и генной модификации.



Здесь будет производиться пища, и здесь же её отходы, в том числе канализационные стоки, будут превращены в биогумус, на котором вырастет новая пища, что соответствует естественному круговороту живого вещества в биосфере;

- **земной транспорт (наземный, водный, воздушный, космический).** Весь транспорт необходимо перевести на второй уровень, без линейного опирания на поверхность земли, и сделать его на порядок более эффективным, безопасным и экологически чистым. Ведь не только современные дороги отнимают землю, но и современные самолёты, и морские корабли, и космические ракеты – все они должны иметь огромные аэропорты, морские порты, космодромы (тысячи гектаров каждый). Их – тысячи на земной суше, и они заняли лучшую землю во всех странах. Эту землю можно вернуть землепользователям и также посадить на ней сады. И есть только один вид транспорта, удовлетворяющий данным требованиям, – это Струнный транспорт Юницкого. Именно поэтому он станет лидирующим видом транспорта на планете уже к середине XXI в.;

- **земную энергетику.** Её необходимо сделать биосферной – по аналогии с живыми организмами, которые, вырабатывая энергию, производят в качестве конечного отхода своей жизнедеятельности живой плодородный гумус. По такой технологии могут работать только реликтовые солнечные биоэлектростанции (на буром угле, сланцах, торфе, дровах и любом другом энергетическом сырье органического происхождения), которые за 50 лет способны превратить всю земную сушу в цветущий сад, посаженный даже на месте нынешних пустынь, на тучном чернозёме;

- **жилую и производственную инфраструктуру.** Она должна быть размещена в линейных городах общей длиной около 5 млн км, суммарная площадь которых для 10 млрд жителей составит около 5 млн км^2. Такие города займут лишь 1/27 суши, а остальные 26/27 суши будут переданы национальным паркам, заповедникам, заказникам и резервациям со щадящими режимами землепользования. Основным инфраструктурным объектом на планете станет экваториальный линейный город (ЭЛГ) длиной около 40 000 км, который пройдёт по экватору Земли [39]. ЭЛГ выступит наземной научно-производственной и эксплуатационной платформой для вынесения экологически опасной части земной индустрии в космос и её функционирования;

- **индустриализацию космоса.** Её необходимо осуществить, причём в планетарных индустриальных масштабах, к середине XXI в., чтобы получить доступ к бесконечным ресурсам Вселенной – энергетическим, минеральным, пространственным и принципиально новым технологическим возможностям, таким как невесомость, глубокий вакуум, технологическая чистота (без пыли и микроорганизмов) и др. [40]. Только общепланетарное транспортное средство (ОТС), работающее исключительно на электрической энергии, решит эту задачу. Ведь ОТС способно экологически чисто и недорого (примерно в тысячу раз дешевле, чем ракетой) доставлять на орбиту за один рейс до 10 млн тонн грузов и до 10 млн пассажиров при КПД системы 97–98 % [13, 40].

Созданное вокруг планеты в экваториальной плоскости космическое индустриальное ожерелье «Орбита» (КИО «Орбита») станет плацдармом для экспансии земной цивилизации в дальний космос и выполнения задач защиты планеты от космических угроз, в том числе астероидных. По мере освоения космического пространства значительная часть земной цивилизации станет проживать на орбите в ЭкоКосмоДомах (ЭКД) [41], где будут созданы замкнутые экосистемы, дублирующие лучшие природно-климатические условия планеты (субтропики), в том числе гравитацию (с помощью центробежных сил). Но всё же основная часть человечества, объединённого общими целями и задачами, будет проживать в своей колыбели – на планете Земля, превращённой в цветущий сад.

Новый социоэволюционный уровень развития человечества

Принципиально новая инфраструктура расселения, проживания, работы и отдыха людей в линейных городах, вписанных в земную природу и не нарушающих её сложившиеся за миллионы лет эволюции локальные и глобальные биогеоценозы, позволяет по-иному взглянуть на исторически сформировавшиеся на планете социумы, входящие в структуру нашей современной техногенной человеческой цивилизации.

Изобретя первую машину как своего слугу, человек стал постепенно, из поколения в поколение, социально мутировать и превращаться в её слугу, а затем и в её раба.

Мы не мыслим сегодняшней жизни без смартфона и легкового автомобиля и заботимся о них больше, чем о своём здоровье. Например, создание и реализация технологий iPhone и MacBook были значимее для Стива Джобса, чем функционирование поджелудочной железы в его организме, от рака которой он умер в 56 лет.

Мы ведь не укладываем свой смартфон на ночь в СВЧ-печь, так как понимаем, что он быстро выйдет из строя, хотя и можем положить его рядом со своей подушкой, поближе к нашему мозгу. И даже можем построить дом под высоковольтной линией электропередач и спокойно десятки раз в день пересекать её.

Мы боимся высокого напряжения в розетке, но не придаём значения, когда нас бьёт током от дверной ручки, потому что мы одеты и обуты в наэлектризованный электроизолятор, хотя наши предки ходили босиком и имели электрический потенциал Земли. Нас не напрягает тот факт, что при расчёсывании волос скачут искры, а ведь это свидетельствует о высоком, порядка 100 000 В, электрическом напряжении вокруг головы. Хотя мы и знаем, что наши нервная система и головной мозг – это суперсложные низковольтные системы, обменивающиеся слабыми электрическими импульсами, очень чувствительными к внешним электрическим и электромагнитным полям.

Мы боимся подойти к краю крыши 20-этажного дома, но не боимся столкновения со встречным автомобилем при скорости движения 70 км/ч, а ведь при падении с высоты 80 м встреча с асфальтом произойдёт на такой же относительной скорости.

Человек всё больше и больше отдаляется от породившей его Живой Природы, становясь всё ближе к неживому миру машин, механизмов и искусственного интеллекта. Мы радуемся, когда наш ребёнок в пять лет уверенно работает на компьютере, но не огорчаемся, когда он убеждён в том, что хлеб растёт на деревьях, как и яблоки, а колбасу выращивают на грядках, как и редиску.

Технократический вектор развития нашей цивилизации, драйверами которого являются четыре отраслевые индустриальные технологии – сельское хозяйство (пищевой сектор), транспорт и связь (сектор коммуникаций), энергетика (индустриальные возможности), инфраструктура проживания, производства и работы (среда обитания), идёт в тупик из-за несовершенства этих устаревших – можно сказать, древних – технологий, которые не отвечают цивилизационным требованиям даже настоящего дня, не говоря уже о будущем. Это свидетельствует о том, что под прикрытием глобального потепления, деиндустриализации, декарбонизации и других демонизируемых глобальных проблем современности сегодня происходит попытка обнуления цивилизационных настроек и слома существующего индустриального цивилизационного кода.

Общеизвестно, что решение любых сложных проблем всегда следует искать на более высоком уровне их осознания.

Основная причина глобальных проблем современности – это деятельность человечества на площадке ума. Для того чтобы эти проблемы ушли в прошлое, каждой человеческой личности и человечеству в целом нужно подняться на новый макроуровень – уровень разума.

Только разум системно отличает нас от животных. У животных также есть интеллект, а вот разума – нет. Ум отвечает за пропитание, продолжение рода, обеспечение других телесных потребностей, необходимых для выживания. Поэтому даже тот же коронавирус является достаточно умным, чтобы не ставить перед собой цель, например, уничтожения среды своего обитания – тела человека, в которое он поселяется.

Разум же отвечает за духовность – самопознание, саморазвитие, человеческие чувства и эмоции, нравственность, этику, искусство, культуру, совершенствование отношений с другими людьми и окружающей природой и иные духовные ценности.

Только наличие разума делает человека социальной личностью. Такие понятия, как «социум», «социальность», «социализация», имеют очень близкий смысл. Их можно заменить двумя простыми и известными каждому словами: человеческие отношения.

Наличие разума позволяет нам осознанно совершенствовать и развивать свои отношения с другими людьми, окружающей природой и со всем мирозданием в целом. Разум проявляется в каждом человеке как одухотворённость и совесть. Согласно всем учениям – духовным, философским, религиозным – каждый человек должен себя улучшать и развивать, выстраивая возвышенные отношения всех уровней. Для этого природа и дала ему разум.

Обладая как умом, так и разумом, человек стал бинарным: он и социальная личность, и одновременно индивидуальная личность.

Индивидуальный – значит умный. Социальный – означает разумный. Чем разумнее человек, тем выше его одухотворённость и тем лучше он выстраивает свои отношения с другими людьми, окружающим миром и природой во всех её проявлениях.

При развитии индустриальных технологий в обществе потребления, направленных на удовлетворение телесных и умственных потребностей и удовольствий, всё меньше внимания уделяется совершенствованию внутреннего мира людей, уровню и качеству их отношений как друг с другом, так и с окружающим миром. И чем меньше у людей остаётся человечности, тем больше они совершают бесчеловечных поступков, тем больше хаоса они несут в наш мир, уничтожая Богом данную Живую Природу в нашем общем доме – планете Земля.

Созданная людьми техногенная человеческая цивилизация – это цивилизация весьма умных, но очень неразумных людей. Современный человек начал ценить индивидуальный комфорт значительно больше, чем межличностные отношения. Таких людей современная медицина пока всё ещё относит к категории «душевнобольной».

Чем больше у человека разрыв между умом и разумом, тем хуже для личности и для духовной среды его обитания – социума. И наоборот, чем осознаннее взаимоотношения между людьми в обществе, тем быстрее они и социум достигают успехов во всех сферах своей деятельности при значительно меньших затратах усилий и ресурсов. В этом и должна проявляться разумность каждого человека – в осознании, что главная личностная выгода состоит в его духовном развитии, в развитии социальных и межличностных отношений не только с другими людьми, но и с окружающим его миром.

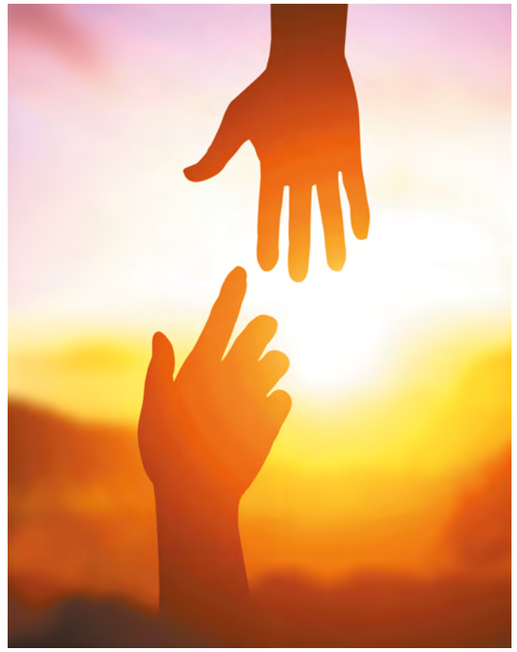
Настоящий прогресс нашей техногенной цивилизации, построенной на инженерных и научных технологиях и открытиях, должен заключаться не столько в развитии и совершенствовании индустриальных достижений, сколько в прогрессе человечности в людях, составляющих нашу земную и именно человеческую, а не какую-либо иную (типа дельфинов, муравьёв и пчёл) цивилизацию. Настало время построить цивилизацию, состоящую не столько из умных технопотребителей, сколько из социально-разумных людей, для чего им необходимо научиться создавать и находить наряду с техническими и социальные изобретения и открытия.

Человечность – это культурно-нравственное и общественно-социальное состояние личности, развитие её разума и обретение ею полноценной нравственности и этики межличностных отношений, осознанной ответственности и целостного понимания реальной жизни на Земле, в биосфере которой насчитываются миллиарды видов живых существ – миллиарднолетних долгожителей и настоящих хозяев нашей общей с ними планеты, которая является маленькой песчинкой (скорее, микроскопической пылинкой) в бесконечной во времени и пространстве Вселенной.

Человечность и духовность раскрывают всю полноту индивидуальной природы каждого человека, его уникальные способности и таланты. Развивая в себе эти качества, каждый человек начинает ощущать всю полноту и богатство земной жизни – своей и сотворённого совместно с такими же, как и он сам, общества.

Полнота нравственности – когда мы хотим сделать счастливой, разносторонней и качественной не только свою жизнь, но и жизнь родных и близких нам людей, исходя из логики теории «Шесть рукопожатий», – из любви к ним, опираясь не на личную выгоду, а на ценности высших порядков.

Осознанная ответственность – когда мы берём личную ответственность не только за свою жизнь и своё здоровье (физическое, духовное и нравственное), но и за здоровье и жизнь родных и близких, человечества и планеты в целом и не перекладываем эту ответственность на других.



Целостность понимания – когда мы осознанно развиваем свой разум в направлении понимания того, как устроен и функционирует окружающий нас реальный (а не виртуальный и цифровой) мир и в чём заключается смысл каждой жизни и её предназначение.

Чем глубже и шире человек раскроет свою индивидуальность и скрытые таланты, тем насыщеннее, качественнее и интереснее станут его отношения с другими людьми. Заложенный природой божественный принцип единства в разнообразии возможен лишь при раскрытии в людях их личностной индивидуальной сущности, что только усилит и увеличит их наслаждение от жизни и отношений друг с другом.

Чем больше женственности будет в женщинах и чем больше мужских качеств в мужчинах, тем притягательнее она и он станут друг для друга, тем крепче и устойчивее будут их семейные союзы. В этом и заложена божественная мудрость – чтобы жизнь не вырождалась, а развивалась бесконечно от простого к более сложному, более возвышенному и более качественному. Именно социальность и межличностные отношения позволили нескольким тысячам первобытных людей создать свои первые инженерные технологии и за несколько тысяч лет эволюции инженерного творчества развиться до современного техногенного мегасоциума – многомиллиардного человечества.

Разум, как и сама жизнь, имеет антиэнтропийную природу. Это означает, что разум всегда стремится к увеличению и упорядочению знаний, к осознанию сущности мироздания, а в высшем его проявлении – к постижению божественности Живой Природы, к восстановлению с ней материальных и ментальных отношений и связей, утерянных человеком-технопотребителем по мере развития индустриальных технологий.

Человек как энтропийная материя обречён на тлен. Его интеллект, т. е. разум, – это антиэнтропийный инструмент, предназначение которого заключается в возвышении нематериального компонента его личности – духовности. Человек развивает свой индивидуальный и, соответственно, коллективный разум только тогда, когда, опираясь на свои таланты и опыт, приносит блага не столько себе, сколько тем, кто его окружает. Это и есть суть понятия человечности человека.

Согласно всем существующим религиям цель любой человеческой жизни состоит в том, чтобы каждый человек сумел раскрыть всё лучшее в себе и воссоединился с создавшим его мирозданием. Главная цель руководства каждого государства должна заключаться именно в том, чтобы помочь в этом людям, живущим в данной стране. В этом и есть социальная и духовная ответственность перед обществом.

Люди, находящиеся на площадке ума, становятся индивидуалистами и нравственно деградируют из-за интенсивно навязываемых из «каждого утюга» ложных приоритетов и целей общества потребления – в тщательно скрываемых интересах создавших их глобальных бизнесов.

В современной системе координат определяющими для всех государств являются экономический рост и ВВП, а не развитие гражданина страны как одухотворённой личности. Истинные приоритеты должны быть совсем иными. Известна поговорка: не ставь телегу впереди лошади. Материальное благополучие – это телега. А развитие в человеке человеческих качеств – это лошадь цивилизационного прогресса. Правильное и безопасное движение вперёд – когда лошадь впряжена в телегу, а не наоборот.

Если люди перейдут из экономической системы координат – из общества потребления – в социальную систему координат, стимулирующую развитие их человеческих качеств и разума, то наша техногенная цивилизация будет развиваться намного быстрее, увереннее и устойчивее.

Для достижения процветания на всех цивилизационных уровнях нашим приоритетом должна стать жизнь в обществе человечности, духовности и нравственности, а не стремление превратиться в раба быстро создаваемого мёртвого, бездушного и обезличенного искусственного интеллекта, который будет управлять нашими телами и душами по прописанным дьяволом примитивным двоичным и виртуальным математическим кодам. Не нужно розовых иллюзий, почему это происходит. Цель та же – получение баснословной прибыли теми, кто и продвигает именно этот вектор цивилизационного развития.

Как известно, куда повёрнут нос корабля, по тому курсу корабль и поплывёт. Государство должно быть сориентировано на развитие нравственности, духовности и человечности в людях. Тогда оно будет оцениваться по показателям, отражающим уровень и качество человеческих отношений. Соответственно, работа всех общественных институтов мирового сообщества будет переориентирована на улучшение этих показателей.

Сегодня главы государств подобны директорам новомодных школ, которые оценивают состояние дел только по уровню технической модернизации в их учебных заведениях. При этом сам учебный процесс в школе не берётся в расчёт. А чему, собственно, учатся дети? Да и учатся ли они чему-то нужному, важному и полезному? Какой толк от того, что школа оборудована по последнему слову техники и внешне хорошо выглядит, если ученики в ней, забыв про учёбу, ожесточённо дерутся между собой и класс на класс и могут в неосознаваемом о последствиях запале даже поубивать друг друга? Именно это и происходит сейчас повсеместно на нашей планете, поделённой, как и лоскутное одеяло, между 245 государствами и зависимыми территориями.

Уровень развития у людей разума, нравственности и ответственности определяет качество их отношений. Поэтому государство необходимо оценивать не по росту ВВП, как это принято в эпоху развитого капитализма, а по таким показателям, как масштабы коррупции; количество преступлений, депрессий, стрессов, конфликтов; случаи бытового насилия, психических и других заболеваний, разводов, абортов, суицидов; число безработных и бездомных, неполных или неполноценных семей, а также детей, воспитываемых неродными родителями, и стариков, оставшихся без поддержки своих же детей.

Среди положительных показателей: рождаемость и уровень образования и нравственности; количество регистрируемых семейных союзов и благополучных семей, золотых и бриллиантовых свадеб; число здоровых (физически, нравственно и духовно) людей, ведущих здоровый и нравственный образ жизни; увеличение продолжительности и качества жизни каждого человека и общества в целом; отношение к близким людям и окружающему миру; объём сохранённых и приумноженных биосферных ресурсов.

Главной задачей системы образования призвано стать воспитание в детях возвышенных качеств и стремления к нравственному и духовному развитию. Кино, телевидение, средства массовой информации должны не рекламировать «жвачку и попкорн» для процветания очередного бизнеса, а нести людям нечто более высокое и значимое: нравственность и этику, сотворчество и культуру общения, направленные на укрепление семьи и вдохновление людей на проявление их лучших человеческих качеств во всех структурах социума – от семьи до государства и цивилизации в целом.

Сейчас общество сориентировано на прибыль, а это развивает в людях индивидуализм и вектор «брать», в то время как ориентация на идеологию нравственности и человечности развивает в людях стремление поделиться чем-то важным и достойным с другими. Перезагрузка человечества на нравственный вектор развития повлечёт за собой рост экономики, потому что там, где люди заботятся о благе друг друга, вырастут безопасность и стабильность, повысятся эффективность и производительность труда при снижении жизненных и производственных затрат и издержек.

Критерием эффективности и уровня цивилизованности социума, а также отдельно взятого человека будет не прибыль, а общественная польза, что сделает технопотребительское человечество социотехнократическим. Труд станет не средством выживания человека в обществе и цивилизации на планете, а основным элементом созидания и творчества.

Такой курс развития способен привести мировое сообщество в течение XXI в. к гармонии и процветанию на всех уровнях жизнедеятельности. Без сокращения численности населения и без деиндустриализации, так как именно инженерные технологии повысили качество и уровень жизни: от примитивного уровня существования первобытного человека до современного цивилизационного уровня – при одновременном росте небольшой популяции двуногих и прямоходящих полуживотных индивидуумов до миллиардов разумных и одухотворённых личностей.

Сейчас человеческая цивилизация благодаря бурному развитию инженерных технологий (при недоразвитости нравственно-идеологических платформ) вошла в режим турбулентности и нестабильности. На руинах старых философий и идеологий неизбежно будут возникать попытки создания новых тоталитарных социально-политических и экономико-технократических глобальных международных систем. Необходимо знать их признаки, чтобы предотвратить эти попытки.

Такие деструктивные системы блокируют и подавляют развитие нравственности и проявление человечности в людях, они не дают обрести, раскрыть и реализовать полноту наших человеческих качеств. Ограничение развития разума человека осуществляется через социальную и образовательную стратификацию и ограничение знаний, в том числе путём сведения их к фрагментарным знаниям.

Например, одним детям дают знания по «болтам и гайкам», другим – по «овощам и фруктам», третьим – по «искусственному интеллекту», но им не даётся стартовая полнота знаний обо всём многообразии окружающего нас мира. Более того, извращается сама система образования: детей обучают только тому, как стать потребителем и обывателем, а не социальной личностью и творцом.

Деградация нравственности начинается с детства и осуществляется через фокусировку сознания людей на телесных потребностях. Духовные потребности сводятся преимущественно к развлечениям и виртуальным играм, большинство из них – банальные и примитивные «стрелялки», в которых нужно как можно больше чего-нибудь и кого-нибудь уничтожить или как можно более изощрённо разрушить и убить. Это с раннего детства формирует у человека индивидуализм и потребительское отношение к жизни, друг к другу, ко всему мирозданию в целом, ведя в конечном итоге к разрушению личностей, социумов, стран, к экологическим и техногенным катастрофам, экономическим и социально-политическим кризисам.

Уничтожение традиционной нравственности, формировавшейся в обществе в течение тысячелетий, происходит в том числе через разрушение института традиционной

семьи, а также путём лишения родительских прав и передачи детей на воспитание обезличенному и бездуховному государству либо сторонним или чужим и чуждым лицам и организациям.

Ответственность в людях блокируется через расслоение общества, через системное подчинение людей ускоренно создаваемому внеличностному, бесполому и мёртвому искусственному интеллекту, а также через ограничение социальных прав и свобод человеческой личности, имеющей заложенные природой живое тело, животворящий пол и живую душу.

Созданное за последние 200 лет существования капитализма (начиная с железной дороги Джорджа Стефенсона) общепланетарное общество потребления – современная техногенная цивилизация – напоминает в настоящее время неразумную плесень в чашке Петри, которая, съев ограниченные ресурсы и загрязнив отходами своей жизнедеятельности ограниченное пространство, неизбежно погибает.

Только в пространстве свободы может развиться в каждой личности ответственность. Чем меньше у личности истинной свободы, т. е. чем больше псевдозащитных масок человек наденет на своё лицо, чем больше прививок и чипов себе поставит, чем чаще будет прятаться в локдаунах, тем менее ответственным и несвободным он станет, пошагово превращаясь в киборга.

Препятствием для развития индивидуальности каждого человека является также уравниловка в оценке полезности его труда для общества, которая, например, была в позднем Советском Союзе, – одинаковый уровень дохода для всех сотрудников независимо от количества или наличия приносимой ими пользы.

Ещё одно труднопреодолимое препятствие к раскрытию заложенных от природы в каждом человеке талантов – все виды расслоения общества с отсутствием личностных социальных лифтов.

Для того чтобы искусственный интеллект не превратил человечество в послушное стадо зомбированных рабов, требуется социально-нравственная трансформация техногенного вектора развития нашей цивилизации, а значит – прогресс человеческих отношений, прогресс нравственности, этики и человечности в людях. И всё это необходимо духовно осознать, чтобы земное человечество стало цивилизацией разумных людей.

Начать такую цивилизационную перезагрузку нужно с конкретных шагов: со строительства первых адресных проектов по принципиально новой общепланетарной экоинфраструктуре – рельсо-струнного транспорта «второго уровня», линейных экогородов на первом уровне, реликтовых солнечных экобиоэлектростанций, промышленным

отходом которых станет живой плодородный гумус и, соответственно, яблоки и виноград.

Близость к земле в линейном городе позволит человеку вернуться к своим истокам – к Живой Природе, частью которой он является и от которой оказался оторван, уверовав в идола научно-технического прогресса.

Мы при рождении получаем тело – это единственное, что точно будет в нашем распоряжении до конца наших дней. Поэтому мы должны любить своё тело, чтобы оно прослужило как можно дольше. Известно, что мы есть то, что мы едим: пища является главным сырьём для строительства клеток, органов, систем и всего организма в целом. Известно ещё: в здоровом теле – здоровый дух, а также то, что все мы учимся всю свою жизнь в школе под названием «Жизнь на планете Земля». Линейный пешеходный город, гармонично вписанный в земную природу, – идеальное место для такой учёбы. Здесь станет возможным:

- каждый день ходить босиком по целебной утренней росе и встречать с петухами рассвет;
- не опасаться за жизнь своих детей, играющих на траве, а не на асфальте, – они не попадут под автомобиль ввиду его отсутствия;
- питаться только природной органической пищей, являющейся лечебной и дающей нам (начиная с самого раннего детства, с молоком матери) здоровье, хорошее самочувствие, выносливость, высокую работоспособность и долголетие. Такая природная пища укрепляет иммунную систему и продлевает нашу жизнь до 100 лет и более; её невозможно заменить никакими самыми инновационными и дорогостоящими биологически активными добавками (БАДами), лекарствами, вакцинами, прививками и процедурами;
- дышать полной грудью чистым живительным воздухом, насыщенным фитонцидами целебных полевых и лесных цветов, трав и деревьев;
- пить живую родниковую (артезианскую) воду, правильно взятую с нужного глубинного горизонта в пределах своего или соседнего жилого кластера без ухудшения её свойств и качества;
- в своём доме или рядом с ним, в своём или соседнем кластере иметь любимое дело, поэтому не будет

необходимости ежедневно тратить часы своего драгоценного свободного времени на некомфортный, небезопасный и небесплатный транспорт, чтобы добраться до работы и вернуться обратно домой. Ходить пешком на работу и по другим делам, причём бесплатно, станет нормой: ведь, исходя из физиологии, для общего укрепления организма нам желательно совершать ежедневно не менее 10 000 шагов. Такая общеукрепляющая физиотерапия полезна в любом возрасте и практически не имеет противопоказаний;

- общение с Живой Природой, укрепляющий тело и дух продуктивный физический труд, так необходимый нашему организму, состоящему из множества подвижных элементов (850 мышц, 208 костей и 360 суставов). Такая ежедневная полезная физическая работа на своей земле, а не в фитнес-зале, нам жизненно важна, в первую очередь для лимфатической системы, являющейся внутренней средой организма и основой нашего иммунитета и здоровья. Лимфа состоит из межклеточной жидкости и служит своеобразным пищеводом, водопроводом и канализацией для каждой клетки нашего тела. Эта жидкость не имеет своего сердца, поэтому в её циркуляции по лимфатическим капиллярам (без образования застойных зон во всех перечисленных подвижных элементах человеческого тела и вызванных этим болезней, в том числе рака) эволюционно задействовано постоянное сокращение всех наших мышц;

- каждому жителю получить в линейном городе свою главную жизненную профессию – счастливый человек, т. е. стать по-настоящему богатым, создав в себе самые большие человеческие ценности: здоровье (физическое, духовное и нравственное), долголетие и богатство души.

Кластеры линейных городов станут базовой платформой самоорганизации сообществ для выживания в условиях современной жёсткой глобальной конкуренции при снижении роли и значения государственных границ как неких социально-экономических регуляторов.

Психологически человек всегда стремится найти поддержку и взаимопонимание среди сообщества людей, близких ему по духу и образу жизни, – ему недостаточно ощущать себя просто членом общества и гражданином своей страны. Современному человеку, уставшему от постоянного давления со стороны властей, политиков, бизнесов и рекламы, жизненно необходима своеобразная отдушина: понимание и солидарность, сопричастность без получения выгоды и прибыли, самореализация и духовно-нравственные ориентиры. Очень важны также общие культура и язык: родной язык, через который передаются опыт и знания предшествующих поколений, культура и социальные ориентиры; и информационный (неродной) язык, на котором говорят и общаются на нашей планете миллиарды человек.

Такие социальные потребности – социокультурные связи, общие ценности, религия, традиции, искусство, этнические и межэтнические контакты и др. – удовлетворяются именно в малых группах, имеющих схожие интересы. Подобные самоуправляемые общины различных типов, проявляющие себя в различных отношениях (духовных, религиозных, социально-экономических, этнических, организационно-управленческих, коммуникативных, политических, образовательных, историко-экологических и др.), могут быть созданы в кластерах линейных городов.

При этом развитие науки, культуры и образования, малого и среднего бизнеса, туризма и сферы услуг, интеллектуальное и духовное развитие, воспитание детей, общение с природой, выращивание органической пищи для себя и членов своей семьи и иные сферы интеллектуальной, духовной и физической деятельности человека станут основной работой для многих жителей линейных городов.

Этот труд будет более интересным и более значимым для любого социума, в том числе для человечества в целом, чем, например, сегодняшняя работа шахтёром, токарем, сварщиком, металлургом или водителем-дальнобойщиком, и оплачиваться он станет гораздо лучше. Поэтому безработица и бедность уйдут в прошлое, когда основная часть человечества переселится из оторванных от природы и жизни бетонно-асфальтовых джунглей мегаполисов в пешеходные линейные города, гармонично вписанные в Живую Природу.

Здесь возобладает инновационная стратегия перехода локальных (кластерных) социумов технопотребителей к новому качественному состоянию – к социотехногенному обществу. Такая перенастройка вектора долгосрочного развития земной человеческой цивилизации предполагает конверсию военно-промышленных комплексов и создание новой общепланетарной экоинфраструктуры – жилой, транспортной, производственной (в том числе сельскохозяйственной), энергетической, информационной. Станет возможным использование социальных ресурсов территорий, духовного и интеллектуального потенциала каждого человека, энерго- и ресурсосберегающих технологий, в частности путём перехода от глобального экспорта ресурсов и сырья на экопроизводство товаров и услуг (из этого же самого сырья) в кластерах линейных городов – с опорой на собственные силы, межрегиональное взаимодействие и человеческое измерение в экологии.

Выводы и дальнейшие направления исследования

Вышеприведённый анализ показывает, что на нашей планете может комфортно и безопасно жить всё будущее человечество – порядка 10 млрд людей, а при необходимости и в разы больше. Для этого следует пересмотреть отношение к земным биосферным и индустриальным ресурсам, инженерным технологиям, сельскому хозяйству, транспорту, энергетике, жилой и промышленной инфраструктуре и вообще к человеческой личности, социуму и нашей земной техногенной цивилизации в целом. Кроме того, требуется в ближайшей перспективе (к середине XXI в.) совершить ресурсную революцию – начать широкомасштабную индустриализацию ближнего космоса.

Только замещение существующей мировой дорожно-транспортной инфраструктуры инновационной сетью uNet на основе Струнного транспорта Юницкого позволит дать реальную, а не декларативную экономию в XXI в. (только за счёт высокоскоростной составляющей этой сети) [2]:

- сталь – 250 млрд тонн;
- железобетон – 3 трлн тонн;
- исчерпаемое минеральное сырьё – более 3 трлн тонн;
- грунт (в том числе плодородная почва) – 1 трлн тонн;
- топливо – 40 млрд тонн (ежегодно);
- атмосферный кислород – 120 млрд тонн (ежегодно);
- экологический ресурс – отсутствие ежегодных выбросов в биосферу около 400 млрд тонн твёрдых и газообразных техногенных отходов, в том числе выхлопных и дымовых газов.

Стоимость указанных сэкономленных ресурсов – около 1000 трлн USD. Не меньшей будет ценность спасённых в XXI в. сотен миллионов жизней (людей и животных) и миллиона квадратных километров земель, занятых сегодня дорогами «первого уровня», которые будут возвращены исконному землепользователю – биосфере планеты. Вместе с тем важно отсутствие в биосфере 400 млрд тонн продуктов горения топлива и техногенных загрязнений.

Разумная цивилизация способна разумно распорядиться ограниченными земными ресурсами. Она также способна найти решения по вынесению индустрии из живой биосферы в мёртвый космос, успев осуществить эту миссию до наступления точки цивилизационного невозврата, когда что-то изменить уже будет слишком поздно. Это позволит открыть земную «цивилизационную чашку Петри» и получить доступ к неограниченным ресурсам мироздания – пространственным, сырьевым, энергетическим и технологическим.

Для осуществления программы «ЭкоМир» необходимо выполнить все НИОКР и практически реализовать перечисленные выше пункты перезагрузки мировой экономики на биосферный путь развития к середине XXI в. – до приближения к точке невозврата для земной техногенной цивилизации. Иначе программа, способная спасти человечество от угасания и гибели, станет очередной утопией, о которой лет через сто искусственный интеллект расскажет в виде анекдота (хотя, скорее всего, у них не будет такого жанра общения) киборгам, живущим в подземных бункерах на планете, превращённой в пустыню, – ведь машинно-человеческому гибриду и искусственному интеллекту биосфера не нужна.

Но мы, люди, обязаны успеть спасти родившую нас живую планету. У нас впереди ещё два поколения – это достаточно много времени, чтобы проснуться и осознать, что только биосферный путь устойчивого развития техногенной цивилизации в логике «Земля – для жизни. Космос – для индустрии» является единственно верным.

Ёмкость мирового рынка в предлагаемой программе перезагрузки мировой экономики на биосферный путь развития составит в XXI в. более 10 000 трлн USD. Предусмотрены семь главных направлений такой перезагрузки:

1) строительство экожилья в линейных городах, включая инфраструктуру, для 10 млрд человек;

2) ежегодное производство миллиардов тонн органической сельхозпродукции во всех без исключения кластерах линейных городов;

3) создание сетевой реликтовой солнечной биоэнергетики на буром угле, сланцах, торфе, дровах и другом энергетическом сырье органического происхождения из расчёта не менее 5 кВт установленных энергетических мощностей на каждого жителя планеты;

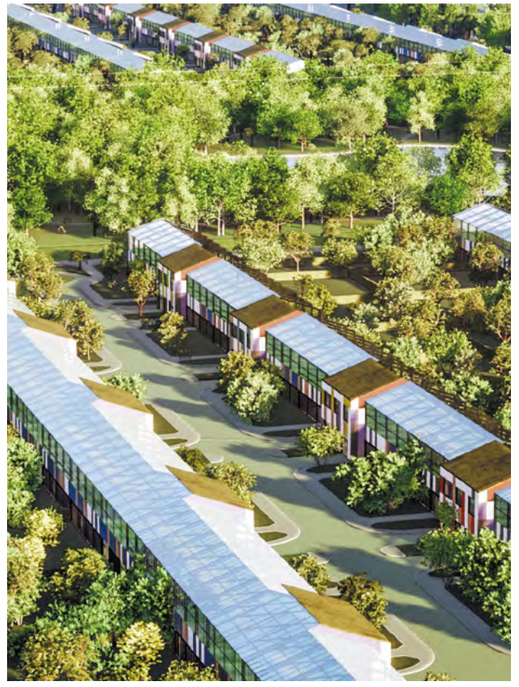
4) строительство порядка 10 млн км транспортно-инфраструктурной сети uNet, включая безопасные, скоростные, доступные, эффективные и экологически чистые дороги «второго уровня», совмещённые с электрическими и информационными сетями;

5) ежегодное производство миллиардов тонн живого высокоплодородного гумуса из отходов реликтовой солнечной биоэнергетики и органических отходов, образующихся в линейных городах;

6) повышение природного плодородия почв и улучшение их биогеоценозов на десятках миллионов квадратных километров земной суши;

7) устранение пустынь на всех континентах и превращение родной планеты, родившей и вырастившей нашу цивилизацию, в цветущий сад, посаженный на тучном чернозёме.

Реализация данной программы позволит устойчиво развиваться мировой экономике при ежегодном приросте ВВП на 10 % и населении в 10 млрд человек в течение ближайших 100 лет. К тому времени вся экологически опасная часть земной индустрии будет реформирована и вынесена в ближний космос, где она сможет устойчиво развиваться на благо земной цивилизации в нашей материальной Вселенной – бесконечно во Времени в бесконечном Пространстве с бесконечными Ресурсами.



Литература

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. Техносфера 2.1 – перезагрузка земной индустрии на космический вектор развития / А.Э. Юницкий // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 12 сент. 2020 г. / Астроинженерные технологии, Струнные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – С. 36–73.*
3. *Maltus, T. An Essay on the Principle of Population [Electronic resource] / T. Maltus. – Mode of access: http://www.esp.org/books/malthus/population/malthus.pdf. – Date of access: 10.06.2021.*
4. *The Limits to Growth / D.H. Meadows [et al.]. – New York: Universe Books, 1972. – 205 p.*
5. *Did I Say That? [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.theguardian.com/lifeandstyle/2009/jun/21/quotes-by-prince-philip. – Date of access: 11.06.2021.*
6. *Pearce, K. Pandemic Simulation Exercise Spotlights Massive Preparedness Gap [Electronic resource] / K. Pearce // JHU Hub. – 2019. – Mode of access: https://hub.jhu.edu/2019/11/06/event-201-health-security/. – Date of access: 11.06.2021.*
7. *Переслегин, С. Запрет обсуждать вакцинацию [Электронный ресурс] / С. Переслыгин. – 2021. – Режим доступа: https://www.youtube.com/watch?v=WFl_PzSLadw. – Дата доступа: 12.07.2021.*
8. *National Security Study Memorandum 200: Implications of Worldwide Population Growth for U.S. Security and Overseas Interests, Dec. 10, 1974 [Electronic resource]. – Mode of access: https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PCAAB500.pdf. – Date of access: 21.05.2021.*
9. *Schwab, K. COVID-19: The Great Reset [Electronic resource] / K. Schwab, T. Malleret. – 2020. – Mode of access: http://reparti.free.fr/schwab2020.pdf. – Date of access: 20.04.2021.*
10. *Klaus Schwab and Prince Charles on Why We Need a Great Reset – Listen to the Podcast [Electronic resource] // The World Economic Forum. – 2020. – Mode of access: https://www.weforum.org/agenda/2020/06/the-great-reset-this-weeks-world-vs-virus-podcast/. – Date of access: 14.06.2021.*
11. *Александр Дугин: Манифест великого пробуждения [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: https://izborsk-club.ru/20749. – Дата доступа: 24.02.2021.*
12. *Locey, K.J. Scaling Laws Predict Global Microbial Diversity / K.J. Locey, J.T. Lennon // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2016. – Vol. 113, No. 21. – P. 5970–5975.*
13. *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. / Астроинженерные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 31–39.*
14. *Билич, Г.Л. Биология: полный курс: в 4 т. / Г.Л. Билич, В.А. Крыжановский. – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Оникс, 2009. – 864 с.*
15. *Журавлёв, А. Кто горы наворотил? / А. Журавлёв // Популярная механика. – 2019. – № 11. – С. 94–99.*
16. *Они почти не заметны, но их миллиарды: главные строители Земли [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: https://www.popmech.ru/science/523224-oni-pochti-nezametny-no-ih-milliardy-glavnye-stroiteli-zemli/. – Дата доступа: 08.05.2021.*
17. *There's a Surprising Amount of Life Deep Inside the Earth. Hundreds of Times More Mass than All of Humanity [Electronic resource]. – 2018. – Mode of access: https://www.universetoday.com/140847/theres-a-surprising-amount-of-life-deep-inside-the-earth-hundreds-of-times-more-mass-than-all-of-humanity/. – Date of access: 07.01.2021.*
18. *Walker, J.C.G. The Oxygen Cycle / J.C.G. Walker // The Natural Environment and the Biogeochemical Cycles. – Berlin: Springer, 1980. – P. 87–104.*
19. *Романкевич, Е.А. Массы углерода в гидросфере Земли / Е.А. Романкевич, А.А. Ветров // Геохимия. – 2013. – № 6. – С. 483–509.*
20. *Вода в атмосфере [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: https://obatmosfere.ru/page/voda-v-atmosfere. – Дата доступа: 30.03.2021.*
21. *Катастрофическая эпоха водородной дегазации [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: http://rareearth.ru/ru/pub/20170810/03395.html. – Дата доступа: 01.05.2021.*
22. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.: ил.*
23. *Водяной пар и «парниковый эффект» [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: https://regnum.ru/news/innovatio/2086744.html. – Дата доступа: 03.02.2021.*
24. *Флинт, Р.Ф. История Земли / Р.Ф. Флинт. – М.: Прогресс, 1978. – 340 с.*
25. *Заблуждения о CO_2 и глобальном потеплении [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: https://zen.yandex.ru/media/id/5b0200594bf161a5aeb306c5/zablujdeniia-o-co2-i-globalnom-poteplenii-5d8a48bc433ecc00addb2794. – Дата доступа: 25.11.2020.*
26. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Report [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/07/WG1_TAR_FM.pdf. – Date of access: 14.03.2021.*
27. *Доклад о мировом развитии – 2010. Развитие и изменение климата [Электронный ресурс] // World Bank Group. – Режим доступа: https://www.un.org/ru/development/surveys/docs/worlddev2010.pdf. – Дата доступа: 04.03.2021.*
28. *Круговорот углерода в природе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://energetika.in.ua/ru/books/book-1/part-2/part-6/6-2. – Дата доступа: 21.11.2020.*
29. *Sackmann, I.-J. Our Sun. III. Present and Future / I.-J. Sackmann, A.I. Boothroyd, K.E. Kraemer // The Astrophysical Journal. – 1993. – No. 418. – P. 457–468.*
30. *Сланцевая нефть, сланцевый газ, горючие сланцы [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: https://neftegaz.ru/tech-library/energoresursy-toplivo/141700-goryuchie-slantsy-slantsevaya-neft/. – Дата доступа: 03.01.2021.*
31. *Горючие сланцы и сланцевая нефть. Новая жизнь старых запасов? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vseonefti.ru/neft/slancevaya-neft.html. – Дата доступа: 03.01.2021.*
32. *Устойчивое развитие населённых пунктов и улучшение их коммуникационной инфраструктуры с использованием струнной транспортной системы: итоговый отчёт по проекту Центра ООН по населённым пунктам (Хабитат) FS-RUS-98-S01 / рук. проекта А.Э. Юницкий. – М., 2000. – 179 с.*
33. *Обеспечение устойчивого развития населённых пунктов и защита городской окружающей среды с использованием струнной транспортной системы: заключительный отчёт по проекту Программы ООН по населённым пунктам (ООН-Хабитат) FS-RUS-02-S03. – М., 2004. – 158 с.*
34. *Пустыни / А.Г. Бабаев [и др.]. – М.: Мысль, 1986. – 320 с.*
35. *Протяжённость автомобильных дорог в мире, список стран мира, таблица [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа: http://www.statdata.ru/protyagennost-avtomobilnyh-dorog-v-mire. – Дата доступа: 24.02.2021.*
36. *Названы города с самым быстрым общественным транспортом [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: https://mir24.tv/news/16375556/nazvany-goroda-s-samym-bystrym-obshchestvennym-transportom. – Дата доступа: 15.01.2021.*
37. *Cow 'Emissions' More Damaging to Planet than CO_2 from Cars [Electronic resource]. – 2006. – Mode of access: https://www.independent.co.uk/climate-change/news/cow-emissions-more-damaging-to-planet-than-co2-from-cars-427843.html. – Date of access: 30.01.2021.*
38. *Навоз – это доход или дополнительные расходы? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://gea-kazakhstan.kz/dopolnitelno/zhivotnovodstvo-i-molochnoe-proizvodstvo/navoz-eto-dokhod-ili-dopolnitelnye-raskhody. – Дата доступа: 30.01.2021.*
39. *Юницкий, А.Э. Экваториальный линейный город как альтернатива концепции «умных городов» / А.Э. Юницкий, С.С. Семёнов // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / Астроинженерные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 223–229.*
40. *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. / Астроинженерные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 41–49.*
41. *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. / Астроинженерные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 51–57.*

УДК 124.5

Новая переоценка ценностей и становление транспланетарной аксиологии

Юницкий А.Э.[1,2]
Петров Е.О.[2]

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

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

Рассмотрены проблемы кризиса духовно-нравственных ценностей человека и человечества в целом. Обоснована важность их переоценки на текущем этапе развития земной техногенной человеческой цивилизации. Показана история проблематики и продемонстрированы механизмы генезиса ценностей, описанные в философии. Предложены критерии, которым должны соответствовать аксиологические установки, для того чтобы быть способными обеспечить выход из системного кризиса, задать духовный базис и определить направление развития нашей цивилизации, а затем и перехода на качественно новый уровень её существования в наступающей исторической эпохе. Выяснено, что новые ценности могут быть основаны только на утверждении необходимости масштабной мирной экспансии в космос индустриальной техносферы, созданной земной техногенной цивилизацией, сформировавшейся в современном виде только благодаря предшествующим инженерным (индустриальным) технологиям.

Ключевые слова:
ценности, переоценка ценностей, воля к власти, воля к жизни, цивилизационные цели, транспланетарная аксиология, индустриализация космоса, экспансия человечества в космос.

Введение

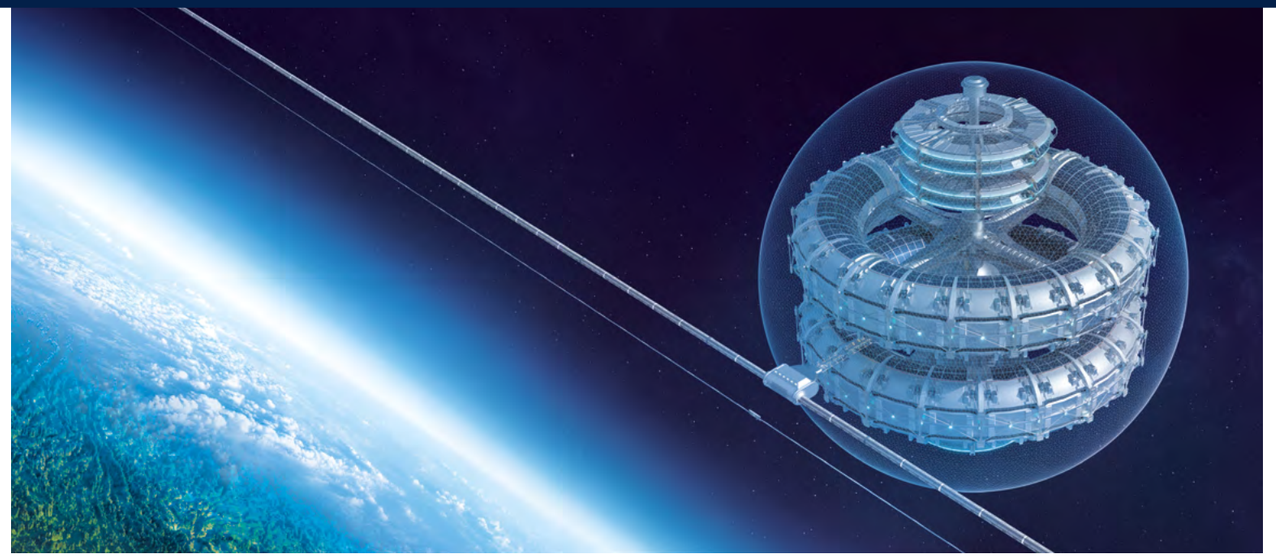
События последнего десятилетия уникальны, и в особенности пандемия 2019–2021 гг., когда люди боялись выйти из дома. Мир менялся всегда; известно, что невозможно войти в одну и ту же реку дважды, но сейчас, очевидно, происходит некая эпохальная трансформация. К. Шваб, один из идеологов глобального наступления на человечество «дивного нового мира», высказался предельно откровенно по поводу грядущей социально-нравственной трансформации человечества: «Мировой кризис, спровоцированный пандемией коронавируса, не имеет аналогов в современной истории… Он погружает всё общество и каждого из нас индивидуально в самые трудные времена, с которыми мы сталкивались на протяжении поколений. Это решающий момент, и мы будем бороться с последствиями того, что происходит сегодня, в течение многих лет, и многое изменится навсегда… Появится новый мир» [1].

Мы наблюдаем исторический перелом, к которому общество шло долгое время и для которого случившееся на наших глазах явилось триггером. Задолго до COVID-19 профессор Мюнхенского университета и Лондонской школы экономики У. Бек писал: «Точно так же, как в XIX в. модернизация разрушила структуру феодального общества и породила индустриальное общество, сегодня модернизация разрушает индустриальное общество, и рождается другая современность… Мы являемся свидетелями не конца, но начала современности – то есть современности за пределами её классической индустриальной конструкции» [2].

На первое место, с точки зрения У. Бека, в текущей ситуации выходят вопросы, связанные с рисками и их предотвращением. Идеал нового общества, оформляющийся исходя из такого ракурса, предписывает устойчивость, безопасность. С одной стороны, это говорит о наличии серьёзной опасности (прежде всего глобальной экологической). С другой – обнажает суть кризиса, возникающего в момент социальной трансгрессии и заключающегося в неспособности человечества руководствоваться положительными ценностями, говорить, думать и действовать в некоем горизонте «позитивного» образа будущего, а не пытаться только сохранить и уберечь имеющееся в настоящем перед лицом грядущего апокалипсиса расчеловечивания человека.

Во всём многообразии сложностей, стоящих перед социумом, мы, видимо, в первую очередь должны вести речь о кризисе ценностей. Тот же COVID-19, если взглянуть широко, вывел на первый план именно данную проблематику, а не вопросы, связанные с медициной, экономикой или политикой, хотя и в перечисленных сферах отмечено немало изменений. Однако всех прежде всего волновали трансформации, происходящие на уровне конституционных прав человека, индивидуальной и коллективной свобод, ответственности, образа жизни, уклада, привычек. То есть всего того, что так или иначе относится к ценностной составляющей жизни индивидуума и общества. Соответственно, раз мы говорим о некоей трансформации, то сначала её следует осуществить как переоценку ценностей. Более того, если на текущем переходном этапе речь идёт о рисках в глобальном масштабе, то цели, которые будут заданы новыми ценностями, должны иметь столь же глобальный и даже космический характер.

По убеждению авторов, эти ценности могут базироваться только на утверждении необходимости масштабной мирной экспансии человечества в космос. Точнее – вынесения в космос индустриальной техносферы, созданной земной техногенной цивилизацией, так как именно техносфера, основанная на мёртвых антибиосферных инженерных технологиях, вступила в борьбу за ресурсы со своим антагонистом – живой биосферой, что и вызвало все глобальные проблемы современности. Человечество, ввиду своей малой относительной биологической массы (менее 0,005 % от массы живого вещества биосферы), не представляет для неё никакой угрозы, как и другие виды живых организмов (растения, животные или насекомые). С этих позиций бóльшую «опасность» для биосферы должны представлять, например, популяции сосны обыкновенной, трески или мух, весовая доля которых в биосфере значительно выше, чем 7,9 млрд людей. Ведь они, как и человеческая популяция, участвуют в обменных биосферных процессах, питаются из окружающей среды и выделяют в неё же органические и неорганические отходы своего метаболизма.



Наряду с этим техногенная цивилизация (т. е. современное человечество), возникшая с момента изобретения костра и каменных орудий труда, существует сегодня и будет развиваться в грядущем только благодаря базовой ценности, основанной на миллионах инженерных технологий, объединённых общим понятием – индустрия. В отличие, например, от цивилизации дельфинов, не имеющей ни науки и искусства, ни энергетики и транспорта, ни городов и инфраструктуры, ни других достижений, построенных на инженерных технологиях, дальнейшее существование современного человечества немыслимо без индустрии, его породившей. Совершенно очевидным стал факт: индустрия практически достигла пределов своего роста из-за ограниченности земных ресурсов – пространственных, энергетических, сырьевых, экологических. При этом общеизвестно, что любые ресурсы не имеют пределов за границами нашей Голубой планеты – в бесконечном космосе.

Данная статья призвана аргументировать тезис о необходимости мирной экспансии индустриальной техносферы в космос как фундамента выработки новых ценностных установок. С данной целью авторами проведён анализ текущей ситуации в рассматриваемой сфере, а также описана история проблематики. Далее на основании этого сформированы критерии, которым должны соответствовать новые ценности для того, чтобы быть способными обеспечить выход из кризиса, задать духовные начала и направление развития цивилизации, а затем перехода на качественно новый уклад её существования в наступающей исторической эпохе и утверждения соответствующих нравственных и идеологических устоев.

Понятие «ценность» и роль ценностей в развитии общества

«Ценность – термин, используемый в философии и социологии для указания на человеческое, социальное и культурное значение определённых объектов и явлений, отсылающий к миру должного, целевого, смысловому основанию, Абсолюту. Ценности задают одну из возможных предельных рамок социокультурной активности человека» [3]. Исходя из этого, можно сказать: именно ценности обусловят характер и направление движения общества и культуры в будущем, как они же определяли их в прошлом.

Совершенно очевидно, что любое умозрительное построение, в том числе ценность как духовное понятие, не способно стать реальностью, если не задать целеполагание, при достижении которого оно и должно найти своё материальное воплощение. При постановке генеральной цели и совокупности целей (дерева целей) сразу возникает множество философских вопросов. С какой скоростью необходимо двигаться к ней – размеренно идти, быстро бежать или, быть может, еле ползти? Двигаться к выбранному ориентиру нужно каждому человеку в отдельности или, возможно, вместе со своей семьёй, родными и близкими? А если всем вместе в своём же социуме, с тысячами и даже миллионами незнакомых людей, так как общественные ценности представляются нам более самодостаточными и выверенными, чем индивидуальные личностные? Или для этого требуется консолидировать всё человечество как единый вид биологических организмов под общим названием *Homo sapiens*? Или всё-таки дерево целей следует поставить перед всей нашей техногенной цивилизацией, ушедшей глубоко корнями в общий индустриальный фундамент, – как общепланетарной структурой, представляющей собой совокупность локальных, региональных, страновых и континентальных социумов, существующих только благодаря технологическим возможностям всего земного человечества?

Вопросов может быть задано огромное количество, а ответов на них нужно дать ещё больше. Очевидно, что каждый индивидуум становится человеком только в социуме, причём его человечность зависит не столько от личностной шкалы ценностей, сколько от самого социума, в котором он родился, вырос и был воспитан, впитав фундаментальные ценности с молоком матери. Несомненно в том числе следующее: как ценности, так и жизненные цели, например у Маугли, вскормленного волками, или у индейцев, воспитанных племенем, или у европейцев, истоки которых берут своё начало в Древней Греции и Древнем Риме, или у русских, корнями ушедших в язычество, будут совершенно несхожими.

Поскольку ценности и цели у каждого социума разные, то и проблемы, возникающие при их воплощении, также будут кардинально отличаться. Именно поэтому и предлагаемые решения для достижения поставленных целей не могут быть одинаковыми – они противоположны и даже антагонистичны. При этом выстраиваемая логическая цепочка «базовые ценности → поставленные цели → возникающие проблемы → взвешенные решения, предлагаемые для устранения проблем» будет иметь совершенно несходную направленность, границы воплощения и временную протяжённость в зависимости от конкретного социума.

Поскольку наша земная техногенная цивилизация в целом (как совокупность всех социумов, как мегасоциум, состоящий из 7,9 млрд личностей, проживающих в 195 независимых государствах, девяти государствах с неопределённым статусом, на 38 зависимых территориях, трёх территориях с особым статусом, 16 территориях, не имеющих постоянного населения, 22 территориях государств, считающихся их неотъемлемой частью, но относящихся к другой части света, и двух территориях, которые оспариваются несколькими государствами) находится на вершине всех социальных структур человечества, то сама по себе она и должна стать наибольшей ценностью для каждого человека. Вместе с тем общецивилизационные ценности этого мегасоциума должны быть только биосферными, так как наша цивилизация родилась, выросла и оказалась «прописанной» с миллиардами других видов живых существ в нашем общем доме (вернее, в большой комнате, не имеющей ни окон, ни дверей и даже перегородок) – в биосфере планеты Земля.

В конечном итоге вопрос выживания человечества, возникший на фоне характерных для современности глобальных экологических проблем, – вопрос определённых ценностей, которые всеми нами движут. При этом технологическая оснащённость техногенной цивилизации, функционирующей на планете как глобальный технопотребитель, станет играть несравненно меньшую роль, чем нематериальные цивилизационные составляющие – социальные, нравственные, идеологические и духовные аспекты. Никакие технические устройства или идеи, направленные на рационализацию жизни людей, защиту окружающей среды, повышение благосостояния, не будут реализованы, если в обществе нет соответствующих социодуховных ценностей.

С другой стороны (с позиций, например, марксизма), появление тех или иных ценностей обусловлено спецификой отношений между людьми, в которые они вступают в ходе производства, обмена, распределения и потребления общественного продукта. Однако от этого роль и значение ценностей в жизни общества не становятся меньше. Да, изменение в техническом оснащении может способствовать изменению ценностей. Да, ценности вторичны, но именно они в конечном итоге заставляют человечество меняться. Как писал Н. Бердяев, «...марксизм есть не только учение исторического или экономического материализма о полной зависимости человека от экономики, марксизм есть также учение об избавлении, о мессианском призвании пролетариата, о грядущем совершенном обществе, в котором человек не будет уже зависеть от экономики, о мощи и победе человека над иррациональными силами природы и общества» [4].

Следовательно, очевидно, что даже марксистский, глубоко детерминистский подход признал главенствующую роль ценностей в процессах социальных трансформаций. В таком смысле и стоит понимать высказывание Н. Бердяева: «...материализм Маркса оборачивается крайним идеализмом» [4]. Закономерно поэтому, что и экологический кризис современности, и кризис образа будущего, характерный для наших дней, каким-то образом связаны с кризисом ценностей. Данный кризис не является первым в своём роде, но при определённых условиях вполне может оказаться фатальным для нашей цивилизации.

Современный мир, интенсивное формирование которого началось с эпохи Просвещения и научно-технической революции, пережил целый ряд кризисов ценностей. Самый общий взгляд даёт следующую картину. Вначале – отрицание ценностей традиционных культур, построенных на религии. Затем – отрицание ценностей технического прогресса по причине разочарования в последствиях, к которым этот прогресс привёл. После – уход от ценностей, предлагаемых в рамках трёх идеологий XX в. и соответствующих им систем: национализма (включая фашизм), социализма (включая коммунизм), капитализма в различных формах его существования. При этом в реальности последняя модель (капиталистическая) по сегодняшний день сохраняет свои позиции и доминирует в мире. Однако она переживает затяжную депрессию, в первую очередь заметную на нивелировании присущей капитализму системы ценностей.

Инициатива, предприимчивость, успех, богатство, конкуренция, свободный рынок – всё это стало выглядеть весьма сомнительным на фоне экологических и социальных проблем, к которым приводят возникающие отсюда поведенческие установки. А в действительности ничего принципиально иного, столь же массового и привлекательного, человечество сгенерировать не способно. В итоге ценностная структура цивилизации, её социосфера, приобретает относительный характер. Возникают разного рода суррогаты и миксы, сочетающие в себе элементы политических, религиозных, научных и идеологических доктрин. В аксиологическом отношении всё преподносится как относительное, ситуативное, приобретающее значение лишь в контексте того или иного дискурса.

Общество оказывается лишённым ценностей, помимо тех, которые относятся к самому низшему материальному уровню потребления. «Я есть то, чем я обладаю и что я потребляю» [5], – так охарактеризовал сложившуюся ситуацию Э. Фромм, автор термина «общество потребления». На самом деле такое общество инертно, так как у него нет цели, задаваемой ценностями, которые разделяет большинство. Значит, у него нет и будущего. Люди в нём, как отмечал всё тот же Э. Фромм, – всего лишь «вечные младенцы, жаждущие соски» [5].

То, что сегодняшний деградирующий капиталистический либеральный мир предлагает на замену ценностей, в том числе инклюзивность, подтверждает вышесказанное. На роль высшей ценности выдвигается относительность всех ценностей. Следовательно, определяющими развитие общества становятся требования толерантности, равноправия во всех формах его проявления. Таким образом, обозначается равенство между руководящими принципами противоположных идеологических доктрин, религий, социальных и гендерных групп, культур, традиций, т. е. характер происходящего соответствует формуле «всё равняется всему». Подобные установки, очевидно, не могут выступать «предельными рамками социокультурной активности» [1]. Горизонт задаваемой ими активности и диктуемые ими цели будут, по сути, ориентированы не более чем на сохранение существующего положения вещей. Здесь невозможны никакие трансформации, никакая направленность, никакое качественное развитие – творческое, созидающее, интерактивное, коэволюционное, ведь человечество должно не только изменять природу, но и обязано само изменяться, приспосабливаясь к этой природе. Наверное, это было бы и неплохо. Однако только в случае, если бы мы жили в идеальном, абсолютно благополучном мире, что совершенно не так.

На фоне экологических, политических, социальных, духовных и прочих проблем, от решения которых зависит выживание человека как вида, современные ценности (точнее, антиценности, поскольку они всё обесценивают) напоминают лунатика, абсолютно оторванного от жизни. Неожиданно очнувшись (что рано или поздно происходит), он не понимает ситуацию, в которую попал. Либо, не очнувшись, погибает, свалившись в пропасть, так и не осознав в момент своего падения, что же произошло с ним на самом деле.

Да, можно с достаточным основанием утверждать, что в этой всеобщей относительности, как в точке взгляда

на мир, пересматривается в том числе и отношение к природе. Постулируются идеи равенства всех видов живых существ, устанавливается экологический императив, задающий в качестве цели создание экономики углеродной нейтральности (net zero). Однако всё это – не более чем призыв к достижению максимально устойчивого состояния капиталистической системы и общества материального потребления, но никак не цивилизации в целом. Вместе с тем подобная система всеобщего потребления, в последнее время взявшая крен в направлении виртуального эмоционального потребления, в том числе путём пошагового превращения биологического человека в цифрового киборга, изначально несовершенна в своих фундаментальных параметрах. Таким образом, возможность достижения искомой устойчивости вызывает большие сомнения. И вообще, такие понятия, как «ценность», «цель», «достижение», «проблема», «решение», перестают быть адекватными ситуации. Более уместны здесь будут слова «бизнес-план», «задача», «исполнение», «оптимизация».

Ценности общества должны не только обеспечивать условия сохранения, они нужны и как горизонт возрастания. Если это не так, то речь уже идёт не о «ценности», а о «стоимости», что, видимо, для капитализма, в том числе наступающего на человечество инклюзивного капитализма, исконно ближе. Для того чтобы объяснить сказанное, необходимо более тщательно ознакомиться с историей вопроса.

Генеалогия ценностей

Следует отметить, что проблема ценностей в философии, да и в жизни общества в целом, вышла на первый план совсем недавно. Для Античности и Средневековья эта тема была неинтересна. Мировоззрение людей в те времена формировалось в религиозной системе координат, ориентируясь на соответствующие цели, приоритеты, перспективы. Ценности же – нечто иное. О них начинают думать, когда средневековая традиционная культура вымирает. Можно утверждать: проблема ценностей возникает в ситуации обесценивания прежних ценностей и их переоценки.

Наиболее полно и глубоко этот процесс был разобран Ф. Ницше. Например, можно вспомнить его идею о «смерти Бога» – кто-то или что-то должно стать на место ушедшего Абсолюта. Блестящую интерпретацию учения Ф. Ницше дал М. Хайдеггер. Объясняя, он добавил много нового. В текстах двух германских мыслителей представлены основоположения всего того, что необходимо знать о ценностях, чтобы понимать, кто или что формирует их; чему они обязаны служить; какими быть, чтобы выполнять роль покинувшего мир Бога, в его отсутствие позволяя человечеству продолжить «путь к свету».

Если говорить предельно просто, то ценность, согласно суждениям Ф. Ницше, – это точка зрения, т. е. точка, в которой находится глаз смотрящего и из которой проецируется его отношение к миру. Вместе с тем ценность в качестве точки зрения означает всегда условие сохранения и возрастания [6]. Она имеет двойственную природу в силу того, что такова природа самой жизни, частью которой ценность должна являться. Ф. Ницше определил данную сущность как волю к власти, которой движимо всё в мире, включая и человека. Если эта воля ослабевает, если ценность не отражает её двойственной сути и не даёт возможности власти в каждый момент превосходить саму себя, возрастать, то сущее, ведомое такими ценностями, неизбежно начинает деградировать и устремляется к своей гибели.

Несмотря на видимую сложность такой мыслительной конструкции, смысл её прост и понятен. То, что перестаёт расти и развиваться, – умирает. Подобное происходит сегодня в либеральной культуре с её псевдоценностями, делающими всё относительным, тем самым лишая общество даже возможности выбора направления развития. Приведём пример для иллюстрации: чтобы добраться до некоего места, расположенного на севере, надо знать, где находятся север и юг, восток и запад, чтобы имелась сама возможность движения в нужном направлении. Если же начать рассуждать и действовать в том духе, что юг и север, восток и запад – это относительно, то в конце концов окажется, что незачем и некуда идти, а нужно только лечь и умереть, поскольку жизнь и смерть – тоже относительны.

Ценности, согласно Ф. Ницше, есть точка зрения именно потому, что они (в отличие от внешнего Абсолюта) должны исходить от человека и задаваться им, как носителем и проявлением воли к власти. Человек здесь, выступая в качестве основополагающего условия, обязан осознавать свою собственную «ценность» [7]. Как бы это ни показалось странным, но на сегодняшний день *Homo sapiens* как «ценность» фактически не рассматривается. Хотя повсеместно и утверждается обратное. Однако только по форме. Суть же верно подмечена профессором О. Гараниной: «Антропологический центризм, выражаемый в доминировании гуманистических ценностей, стремлении к утверждению жизни и знаменующий биофильскую жизнеценностную ориентацию человека, заменяется технико-информационным утилитаризмом, не требующим непосредственного человеческого контакта, лишающим человека эмоциональной близости и духовного взаимообогащения. В структуре современного антропогенного мира доминирующее значение приобретают техногенные элементы, в результате чего нивелируется ценность живых структур. Пространство естественной жизни сужается под напором искусственного, технического, в общении с которым не требуется проявление доброты, милосердия, сострадания» [8].

В данном контексте чрезвычайно важно следующее: в основе полагания ценностей, согласно Ф. Ницше, лежит структура воли к власти. Только так устанавливаемые ценности способствуют выживанию, потому что жизнь через волю к власти лежит в самой их сущности. Без этого любые ценности, и в частности современные псевдоценности, не только оказываются нежизнеспособными сами по себе, но и ведут к гибели общество, которое руководствуется ими.

Необходимо дополнительно пояснить, что ницшеанское понятие «воля к власти» подразумевает нечто гораздо более глубинное, чем стремление одних людей господствовать над другими при помощи силы, политики и др. «Воля к власти говорит о том, что сущее «есть», то есть в качестве чего оно властвует (как власть)» [7]. Это некая внутренняя движущая сила всего живого, то, что лежало в основе Большого взрыва, и то, что заставляет травинку прорастать сквозь землю, борясь за место под солнцем с прочим сущим. К этому понятию близко находится ключевое понятие другого известного немецкого философа А. Шопенгауэра «воля к жизни», под чем он понимал совокупность «слепых и необоримых» желаний, которые образуют суть нашей индивидуальности: именно они обеспечивают собой воспроизведение индивидов и продолжение рода [9]. На таком основании и призваны стоять ценности, дарующие жизнь.

Человечество и каждый человек обязаны стремиться превозмочь, победить, преодолеть, быть сильнее, а не поступать так, как предлагается в современном мире либеральных конструкций: понять и простить, жить без каких-либо целей, без продолжения рода (к такому образу поведения косвенно призывают навязываемые либерализмом идеалы и цели существования человека), без понимания себя и общества как промежуточной сущности на пути к совершенству – чего-то, что всегда необходимо будет превосходить, а не уравнивать и говорить об относительности всего и вся.

Поскольку ценности обуславливаются человеком и человечеством, являющимися носителями и проявлением воли к власти и воли к жизни, никакие ценности не могут быть окончательными, процесс их полагания и обесценивания непрерывен и происходит по мере того, как однажды принятые виртуальные ценности перестают быть применимы к реальному миру. Тогда и сам мир становится обесцененным [7]. Очевидно, что именно такую ситуацию обесценивания мира мы наблюдаем сегодня.

Толерантность, равенство, бездуховность, относительность, права животных, экологический императив – всё это, возможно, и обеспечивает условия сохранения, но не даёт простора для возрастания. Следовательно, подобные ценности оказываются просто неприменимы к миру техногенной цивилизации (отличающейся, например, от биологической цивилизации дельфинов) со всеми его противоречиями и проблемами – в первую очередь экологическими, обусловленными техносферой. Ещё раз: ценности перестали быть применимы к миру, и сам мир начал казаться обесцененным. Полагание новых ценностей, преодоление нигилизма необходимы в этой ситуации как условие выживания человечества – одного из миллиардов видов живых организмов, населяющих планету.

У каждого вида организмов есть своя жизненная ниша в биосфере, и только *Homo sapiens* через сформированную им техносферу занял все эти ниши одновременно. Занял не в качестве живого организма, а как окружающая его технологическая среда, враждебная всему живому. Для биосферы любой созданный человеком механизм, станок или завод – по сути, чужеродная раковая клетка, с которой её иммунная система, отточенная миллиардами лет эволюции, просто обязана бороться. Автомобиль, «закатавший» в асфальт плодородную почву и отравляющий всё вокруг выхлопными газами, – это часть надземной технологической среды; плуг, химические удобрения и ядохимикаты, вносимые в плодородную почву и приведшие к её повсеместной деградации, – это часть подземной технологической среды; ракета-носитель, выводящая на орбиту спутник связи, по пути уничтожающая миллионы тонн озона и проделывающая озоновые дыры размером с Беларусь, – это также часть техносферы, занимающая нишу воздушного и околоземного космического пространства.

Переоценка всех ценностей и критерии выдвижения новых аксиологических оснований общества

«Переоценка всех прежних ценностей должна совершаться и утверждаться на основании максимальной осознанности своего собственного сознания ценностной сущности и утверждения ценностей», – объяснял М. Хайдеггер один из ключевых моментов учения Ф. Ницше [7]. Ценностная сущность человека и человечества определяется, как уже сказано, через волю к власти. Сущность ценностей – обеспечение условий сохранения и возрастания. Таким образом, вкратце рассмотрев историю вопроса и описав настоящее положение вещей, мы можем систематизировать общие условия и требования к ценностям, которые необходимо сегодня утвердить и осмыслить:

- применимость к современному миру, адекватность реальному положению вещей, проблемам и возможностям;
- утверждение приоритета жизни и фундаментальных свобод человека (в качестве носителя и проявления универсальной воли к власти, а не в качестве, например, носителя атрибутов того или иного социального или сексуального меньшинства);
- закрепление всего созданного цивилизацией в течение предшествующих тысячелетий вплоть до настоящего времени и обеспечение сохранения достигнутого уровня в материальной и духовной сферах социальной жизни;
- обозначение направлений и возможностей дальнейшего всестороннего материального (техногенного) и социального (духовного) развития.

Исходя из приведённых требований и глядя на вопрос с позиций всего человечества, уже давно вошедшего в турбулентный глобальный этап своего существования на планете, когда интересы и действия одних стран и народов тесно сопряжены со всеми прочими, утверждение новых ценностей также должно вестись в планетарном масштабе. Только такой подход может быть адекватен глобальным проблемам, с которыми мы столкнулись. Если мы принимаем второй пункт из приведённого списка критериев и соглашаемся с тем, что в основу полагания ценностей может быть поставлен лишь человек и лишь в качестве субъекта воли к власти, то не может идти и речи о том, чтобы каким-то образом ограничивать его в этом. И наконец, если человек не должен быть ограничен в своей сути и одновременно должен иметь горизонт развития, то таковой открывается перед нами только в космосе. Новые ценности, следовательно, призваны носить транспланетарный характер.

Утверждение новых ценностей: транспланетарная аксиология

Поскольку новые ценности должны соответствовать обозначенным критериям, их развитие необходимо рассматривать в широком историческом контексте. Базовые аксиологические установки трансформировались и развивались в логике возрастания их абстрактности и всеобщности. На основании доступного сегодня этнографического материала можно предположить, что первобытное общество руководствовалось интересами, целями и ориентирами, отражавшими задачи возрастания власти племени, общины, рода. В Античную эпоху на первый план выходят ценности, обслуживающие задачи государства, что ярко видно на примере Древнего Рима, которому присущи идеалы гражданственности. С появлением и распространением мировых религий человек оказывается подчинённым уже не общине и не обществу, но Богу. Ценности приобретают наднациональный характер. Затем эпоха Просвещения постулирует развиваемое по сей день положение, что индивидуум может зависеть только от природы, постигаемой через законы науки, и от юридических законов, установленных благодаря рациональным знаниям. На этом построена идея всеобщего равенства, а далее и либеральная программа освобождения индивидуума от любых форм коллективной идентичности (национальной, политической, религиозной, половой, вплоть до провозглашения свободы человека от того, что он человек, ибо и это – разновидность коллективной идентичности). На каждом этапе переход от одной аксиологической парадигмы к другой происходил через переоценку ценностей. Аналогичные процессы можно наблюдать в настоящее время, и общая логика развития заставляет предположить, что следующий шаг на пути будет также предпринят как новая ступень обобщения. Существующие тенденции подтверждают теоретическое заключение, свидетельствуя о становлении транспланетарной аксиологии.

В основе формирования ценностей, что уже отмечалось, лежит требование адекватности имеющимся проблемам и возможностям цивилизации. Следовательно, возникновение новых базовых установок во многом определяется опасностями, с которыми сталкивается общество в тот или иной период своего развития. Сначала – это природа, враждебная и непонятная. Затем – соседние государства и племена, грозящие напасть и уничтожить. В период возникновения христианства, буддизма и ислама такой опасностью оказываются мощные централизованные государства с жёсткой иерархией, не оставляющие обычному человеку никакого пространства для свободы.

Для того чтобы компенсировать внешние обстоятельства, люди обращались ко внутреннему духовному измерению, где и находили выход для своих желаний и устремлений. Однако возрастающая формализация и властные амбиции церковных институтов сами со временем становятся угрозой. Костры и пытки инквизиции, различные налоги и ограничения. Наука и рациональное право – путь к новому высвобождению. Развитие науки и порождённой ею индустрии – новая опасность. Экологическая и демографическая угрозы – определяющие в сегодняшнем мире. Эффективный путь их решения открывается только через выход за пределы планеты в космическое пространство или уничтожение самой угрозы – индустрии, которая принципиально не может быть безотходной, а значит, будет продолжать загрязнять и отравлять окружающую среду до последнего, пока не сделает её непригодной для жизни (не важно – чуть позже или чуть раньше). Однако отказ от индустрии или её существенное урезание – равно для цивилизации самоуничтожению. Именно поэтому остаётся только космос.

Масштабный выход человечества за границы планеты, причём не как одного из биологических видов живых организмов, а как единственного вида, вставшего на технологический путь развития и создавшего охватившую всю планету техносферу, позволяет обеспечить возможности для дальнейшего роста и развития в аспектах воли к власти и воли к жизни. Суть этих вещей очень проста – всё живое стремится возрастать над другими и над собой. Соответственно, совершенно последовательным желанием и задачей человечества призвано стать возрастание за пределы Земли, которая, по мнению К. Циолковского, – наша колыбель, но в ней невозможно жить вечно, как нельзя оставаться навсегда в детской кроватке [10]. Иначе нас ждёт удел плесени в чашке Петри: исчерпав все ограниченные ресурсы и загрязнив ограниченное пространство отходами своей жизнедеятельности, она, как популяция, погибает.

Колонизация космоса, его масштабная индустриализация, переход на новый этап и уровень цивилизационного развития – таковыми должны стать высшие ценности современного мира. Прочие ценности пусть отталкиваются от этого фундаментального постулата и его подкрепляют. Наибольшую проработанность данное направление аксиологического мышления получило в трудах представителей научной школы «ИноМир» («Инженер Нового Мира») инженера А. Юницкого, в частности в рамках учения о невозможности разрешения антагонизма в границах одной планеты между биосферой, созданной природой, и техносферой, созданной техногенной цивилизацией [11–13].

«Техносфера занимает ту же экологическую нишу, что и биосфера в целом: машины, механизмы, технические устройства размещены в толще земли, воды, воздуха и активно обмениваются с ними веществом, энергией и информацией. Экологические проблемы встали остро

в последней четверти XX в. потому, что техносфера по своей энерговооружённости, т. е. по возможности преобразовывать окружающую среду, приблизилась к биосфере в целом... Кардинальный выход из сложившейся ситуации только один: необходимо предоставить техносфере экологическую нишу вне биосферы. Это обеспечит сохранение и развитие биосферы по тем законам и направлениям, которые были сформированы в течение миллиардов лет эволюции, а также гармоничное взаимодействие общности людей (как биологических объектов) с биосферой.

Такой экологической ниши для техносферы на Земле нет. Но она есть в ближнем космосе, где для большинства технологических процессов идеальные условия: невесомость, вакуум, сверхвысокие и криогенные температуры, неограниченные сырьевые, энергетические и пространственные ресурсы и др.

Таким образом, мы приходим к выводу о необходимости индустриализации космоса, если и в будущем земная цивилизация продолжит технологический путь своего развития. Для широкомасштабного освоения космоса у человечества не так уж много времени, так как по целому ряду прогнозов из-за технократического гнёта на биосферу её необратимая деградация, а с ней и деградация человеческого рода, начнётся через два-три поколения» [11].

Глобальные экологические проблемы на планете в принципе не устранимы без индустриализации космоса ввиду антагонистических противоречий между биологическими технологиями метаболизма живой природы и инженерными технологиями метаболизма мёртвой техносферы. В то же время решение экологических проблем, безусловно, должно стать главной целью современности и в таковом формате фундировать новую систему ценностей.

Крайне важно, что такая точка зрения задаёт направление на решение проблем, т. е. определяет положительный вектор развития. В противоположность этому на сегодняшний день в качестве основы формирования ценностей (точнее, их подмены) берётся отрицательный модус. Речь идёт не столько о необходимости поиска радикального выхода из ситуации, сколько о поддержании здоровья природы в пределах тех или иных норм и т. д. Подобное патологическое состояние общественной системы, поражённой нигилизмом, должно быть исправлено через переоценку ценностей в логике трансплантарной аксиологии.

Вместо бессильных и безжизненных построений равноправия и толерантности нужно утвердить ценности единства целей человечества, в рамках которого все равны не просто в отношении своих политических, сексуальных и прочих предпочтений, а в смысле причастности к общему делу – одному для всего человечества и конкретного человека, в природе которого изначально заложен главный принцип существования любого живого организма: продолжение рода. «Я как живой организм не должен стать последней точкой в эволюции жизни», – это и есть смысл каждой жизни.

Вместо того чтобы вести виртуальную псевдоборьбу за права животных и утверждать виртуальное псевдоравноправие с ними, нужно начать реальную работу по очищению планеты, на которой и люди, и животные смогут жить в нормальных естественных условиях, равнозначных для всех, в соответствии с естественно сформированными природой жизненными нишами. Жизнь животного не может ставиться выше жизни человека, как и наоборот: они должны быть уравнены в своих правах, поскольку являются членами одной семьи – биосферы, рождённой общей матерью по имени Планета Земля. Однако это не означает, что человек не может употреблять животных в пищу, так как естественные пищевые цепочки были эволюционно созданы в биосфере самой природой, а не человеком. Именно поэтому и здесь следует не бороться с природой, а принимать то, что она заложила в нас, людей.

Взамен экологического императива и стремления минимизировать выбросы углерода (а вместе с тем, что неизбежно, сократить промышленные производства и провести деиндустриализацию) нужно поставить перед собой противоположную цель: увеличить индустриальную мощь цивилизации на порядок, при этом сделать так, чтобы она не наносила вреда нашему общему цивилизационному дому – земной природе. Не нужно защищать животное, опустив *Homo sapiens* на четвереньки до его уровня, надо дать животному оставаться таковым в естественной среде обитания, удалив с планеты созданную техногенной цивилизацией раковую опухоль биосферы – техносферу.

Заключение

Изучение истории аксиологической проблематики и её актуального состояния в аспекте происходящей трансформации и переоценки ценностей позволяет определить критерии, в соответствии с которыми необходимо вести поиск новых базовых установок духовного измерения жизни общества. К таковым следует отнести адекватность существующему положению вещей, обязательность утверждения приоритета жизни и фундаментальных свобод человека, обеспечение сохранения достигнутого уровня в материальной и духовной сферах социальной жизни, создание условий для дальнейшего позитивного развития.

Данные факторы предполагают сохранение индустриальной ориентированности нашей земной техногенной цивилизации при одновременном формировании требований по снижению техногенной нагрузки на биосферу, возникшую за миллиарды лет до появления на планете человека и, соответственно, техносферы. Очевидно, это станет возможным только при масштабном освоении космоса в промышленных целях.

Отказ от очерченных целей равнозначен запрету на прямохождение, которое, как известно, принесло людям за последние сотни тысяч лет целый ряд физиологических проблем. Так почему бы не помочь «несовершенному» *Homo sapiens* избавиться от них? Почему бы не «улучшить» человека? И такой запрет будет вполне адекватен запросу некоторых идеологов создания «дивного нового мира» на возврат в течение нескольких ближайших десятилетий к «своим истокам». По сути, человека сейчас всячески принуждают – «для его же блага» – снова начать ходить на четвереньках. Ведь такой жизненный принцип – четыре опоры вместо двух – физиологически более устойчив, что бесспорно. Хотя, что тоже вполне предсказуемо, вряд ли в результате такой трансформации человек окажется социологически и духовно роднее, ближе и понятнее, например, собачке или кошечке, которых он в «дивном новом мире» будет просто обязан любить больше, чем себя.

Космический вектор развития (вполне реальный благодаря технике, а также в рамках технологии общепланетарного транспортного средства (ОТС), способного за один рейс доставить на экваториальную орбиту, причём экологически чисто, до 10 млн тонн грузов и 10 млн пассажиров), оформленный в виде соответствующей системы ценностей, станет мощным инструментом консолидации общества [12]. После эпохи духовного пробуждения, объединённого доктринами мировых религий, по прошествии времени великого брожения и глобализации, обозначенного конфликтом и слиянием идеологий национализма, коммунизма и капитализма, наступит новая эпоха, в которой восторжествует новый человек. Сверхчеловек. Тот, пришествие кого предвидел Ф. Ницше, но в таком обличии, какого философ и не мог помыслить. Это будет космический сверхчеловек и космическое сверхчеловечество.

Развитие исследований по теме утверждения новых ценностей и формирования трансплантарной аксиологии предполагает в дальнейшем более обстоятельный разбор понятийного ядра философской системы А. Юницкого, анализ преемственности ключевых понятий в отношении философской традиции и систематизацию взглядов представителей школы «ИноМир» по основным разделам философского знания: онтология, гносеология, аксиология, этика, эстетика, историософия, философия науки и социальная философия.

Литература

1. *Schwab, K. COVID-19: The Great Reset / K. Schwab, T. Malleret. – Geneva: Forum Publishing, 2020. – 212 p.*
2. *Ритцер, Дж. Современные социологические теории / Дж. Ритцер. – 5-е изд. – СПб.: Питер, 2002. – 688 с.*
3. *Ценность [Электронный ресурс] // Новейший философский словарь. – Режим доступа: http://endic.ru/new_philosophy/Cennost-1341.html. – Дата доступа: 21.06.2021.*
4. *Бердяев, Н. Россия и русские / Н. Бердяев. – М.: Т8 RUGRAM, 2018. – 162 с.*
5. *Фромм, Э. Иметь или быть? / Э. Фромм. – М.: АСТ, 2014. – 320 с.*
6. *Хайдеггер, М. Слова Ницше «Бог мёртв» / М. Хайдеггер // Вопросы философии. – 1990. – N° 7. – С. 143–176.*
7. *Хайдеггер, М. Ницше. Том II / М. Хайдеггер; под ред. В.М. Каменева [и др.]. – СПб.: Владимир Даль, 2007. – 458 с.*
8. *Гаранина, О.Д. Кризис духовно-нравственных ценностей как выражение глобального кризиса // О.Д. Гаранина // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2011. – N° 2 (78). – С. 168–172.*
9. *Воля к жизни [Электронный ресурс] // Философский словарь. – Режим доступа: https://philosophy_dictionary.academic.ru/198/%D0%92%D0%9E%D0%9B%D0%AF_%D0%9A_%D0%96%D0%98%D0%97%D0%9D%D0%98. – Дата доступа: 21.06.2021.*
10. *Циолковский, К.Э. Исследование мировых пространств реактивными приборами (1911–1912 гг.) / К.Э. Циолковский // Избранные труды. – М.: АН СССР, 1962. – С. 167–208.*
11. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.: ил.*
12. *Программа «ЭкоМир» [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: http://ecospace.org/images/Program_EcoSpace_RU.pdf. – Дата доступа: 21.06.2021.*
13. *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. / Астроинженерные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 23–29.*

УДК 711.424

Градостроительная модель линейного типа как выход из цивилизационного и урбанизационного тупиков

Юницкий А.Э.[1,2]
Давыдик М.М.[2]

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

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

Рассмотрен генезис градостроительной модели идеального поселения в различные периоды истории. Указаны достижения и недостатки представленных примеров планировки городов. Обозначена необходимость продолжения поиска новых систем расселения с целью проработки идеи линейного города. Проблему организации поселений линейного типа предложено изучить в непосредственной связи с развитием высокоскоростного транспорта и транспортных систем «второго уровня».

Ключевые слова:
идеальный город, «умные города», линейный тип расселения, жилой кластер, транспортные системы «второго уровня».

Введение

Рост и развитие городских поселений – основополагающая идея эволюции человеческой цивилизации. Определение непосредственной формы городской ткани представляет собой довольно сложный процесс, обусловленный целым рядом факторов: географическим положением поселения; экономической и политической целесообразностью его возникновения; физической, социальной и эстетической значимостью возводимых объектов.

На протяжении веков наблюдается устойчивый запрос на создание места, максимально приспособленного к условиям среды, защищённого от различных опасностей и удобного для жизни. Свидетельством данного факта служат города, описанные в литературных источниках, изображённые в проектах и уже построенные, идеально отвечающие указанным параметрам (т. е. идеальные города) [1].

Благодаря предложенному ниже материалу можно увидеть, как авторы различных концепций градостроительства представляли развитие модели гармоничного устройства поселений и способы достижения всеобщего блага посредством разумной организации общества. Материальная часть такой гармонии воплощалась в пространственно-планировочном облике городов.

Во времена растущей взаимозависимости между странами и народами становится насущным запрос на построение удобных для жизни мест как условие обеспечения равного развития для всех. В данной статье выделены удовлетворительные параметры поселений нового типа, которые отвечают данному требованию.

Анализ этапов создания идеальных поселений

Земная цивилизация развивалась благодаря строительству городов. Первоначально слово «город» означало «огороженное место» (подразумевалось наличие ограды – стены или вала). В защите от внешнего и враждебного мира заключалась изначальная идея городов. Подобный способ расселения обеспечил целый ряд других преимуществ: это были центры развития ремёсел, в которых процветали искусство и наука. Кроме того, города являлись узлами технических достижений; через них проходили основные торговые пути. Градостроительство стало отдельной дисциплиной, изучающей законы и правила организации поселений.

Как любое искусство, градостроение стремится к совершенству. Устойчивое желание зодчих создать идеальное место, удовлетворяющее разнообразным потребностям социума, прослеживается на протяжении длительного времени [1, 2]. Степень идеальности определяется представлениями о ней конкретного человека или группы людей.

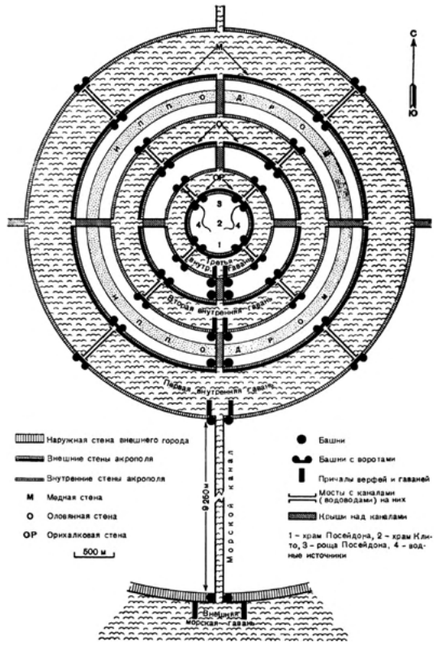
Планы многих городов показывают, что их разработчики руководствовались различными требованиями. В той или иной мере одни интересы удовлетворялись (будь то возможность эффективного кругового обстрела при защите города-крепости или обеспечения нужд коммуны в городе-утопии), другие остались только в мечтах и представлениях авторов. Окончательный ответ на запрос создания идеального поселения не получен. Современные крупные центры переживают кризис, который проявляется в транспортных коллапсах, ухудшении экологии, дефиците территорий для дальнейшего развития. Долгое время концентрировалось внимание на городах-спутниках как варианте возможного спасения. Однако данная концепция не способна решить проблему: такие спутники, срастаясь с рядом расположенными городами, превращают их в мегаполисы.

Выход из урбанизационного кризиса найдётся, когда будут изучены и учтены достижения и недостатки прошлых времён. Примеры, приведённые в анализе развития концепции идеального города (таблица), не отражают весь опыт, приобретённый создателями городов, однако иллюстрируют их представления о гармонично устроенном мире. Градостроительные идеи демонстрируют упорядочение пространства в противоположность хаотичному миру. Враждебно отделённый и защищённый город-крепость постепенно трансформируется в объединённый с окружающей природой город-сад.

Следует отметить, что в данной статье рассмотрены как воображаемые города-утопии, так и воплощённые проекты. В таблице приведён анализ планировочных решений различных поселений с античного периода до нынешних дней.

Таблица – Анализ развития концепции идеального города

Город Атлантида, IV в. до н. э.
Автор концепции: Платон (427–347 гг. до н. э.) [1–5]; изображение: [3]



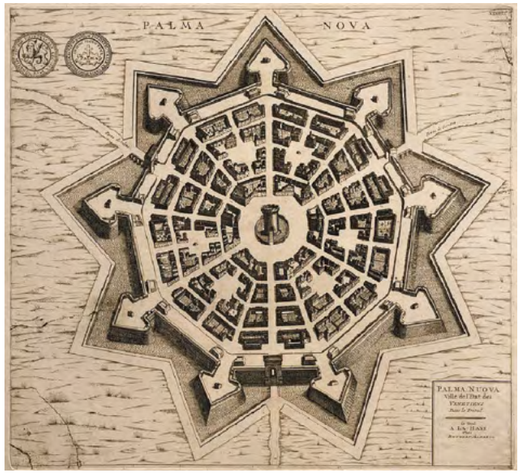
Особенности:
- расположен на воображаемом острове;
- храм и дворец царя находятся в центре города;
- имеет кольцевую планировку (два укреплённых земляных и три водных кольца, а также лучевые дороги, идущие от центра);
- благополучие и процветание города связаны со способом организации гармоничных общественных отношений внутри города, противопоставленных хаосу за его пределами

Достижения:
- защищённость от врагов;
- экономия земли за счёт компактности плана;
- оптимизация связи вследствие функциональной организации территории;
- регулярное обеспечение города продуктами питания благодаря компактному размещению полей и ферм по периметру;
- гармоничные отношения между жителями

Недостатки:
- не учтена несовершенная природа человека;
- централизованное управление двумя высшими классами общества (правители-философы и воины) оказалось неспособным сохранить устойчивость системы;
- отсутствуют перспективы городского пространства, что ограничивает возможности для роста и развития

Продолжение таблицы

Города-крепости, I в. до н. э. – XVI в. н. э.
Авторы концепции: строители Древнего Рима и эпохи Ренессанса (I в. до н. э. – XVI в. н. э.) [1, 5].
Автор концепции города-крепости Пальма Нуова: Винченцо Скамоцци (1548–1616); изображение: [6]

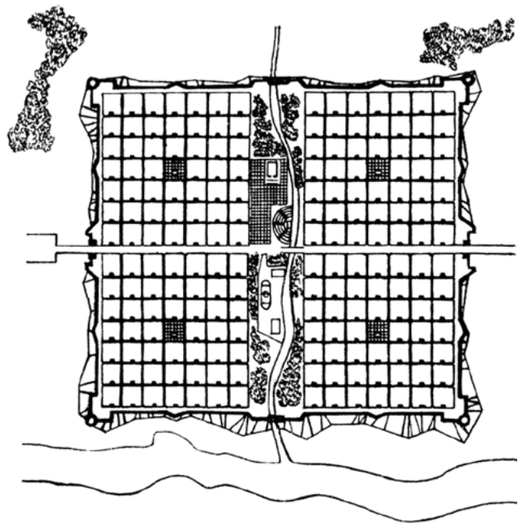


Особенности:
- город Пальма Нуова, изображённый на иллюстрации, расположен на северо-востоке Италии;
- обладает чётко выраженными границами;
- отличается компактным размером;
- характеризуется симметричностью застройки;
- правильная форма в виде девятиугольной звезды решает задачи обороны;
- города-крепости, или звездообразные города, характерны для периода Ренессанса

Достижения:
- оптимальное использование внутреннего пространства;
- удобство ориентирования;
- геометрическая композиция плана отражает мировоззрение общества

Недостатки:
- более удобен для ведения войны, чем для мирной жизни;
- недостаточное количество зелёных насаждений;
- слабое развитие системы жизнеобеспечения;
- не привлекателен для бизнеса

Город Амаурот (Утопия), XVI в.
Автор концепции: Томас Мор (1478–1535) [4, 7]; изображение: [8]



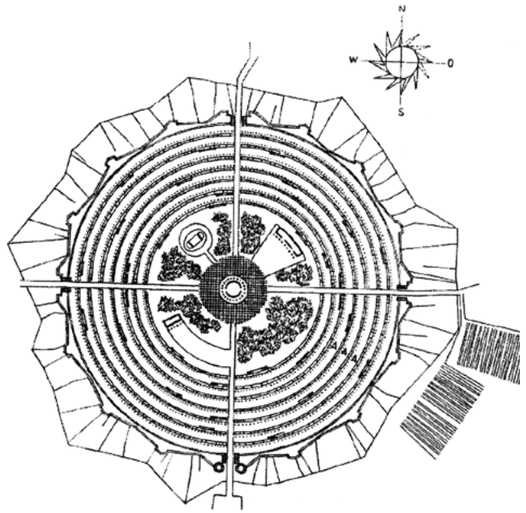
Особенности:
- место размещения – воображаемый остров;
- план города – квадрат 3 × 3 км;
- кварталы – 200 × 200 м;
- наличие сада возле каждого дома;
- озеленение городской среды (парковая зона, река);
- обнесение города крепостными стенами с башнями

Достижения:
- удобство ориентации;
- регулярная планировка;
- защищённость от внешнего мира;
- сад возле каждого дома;
- озеленение городской среды;
- организация мест общественного пользования, парков, наличие реки

Недостатки:
- больше напоминает военный лагерь, чем место для повседневной жизни;
- не предусмотрена территория для размещения производства, имеются только жилые кварталы;
- отсутствие возможности дальнейшего планировочного развития поселения

Продолжение таблицы

Город Солнца (Италия), XVI в.
Автор концепции: Томмазо Кампанелла (1568–1639) [4, 6]; изображение: [6]



Особенности:
- теократический город-государство с верховным правителем Солнцем, или Метафизиком;
- концентрическая схема организации;
- место расположения – воображаемый остров в районе экватора на горе (возвышенности);
- на главной площади в окружении парка – храм и дворец царя;
- кольцевая террасная планировка, предполагающая семь поясов-колец, отделённых крепостными стенами, и лучевые дороги, идущие от центра;
- отсутствие частной собственности, всё является общим

Достижения:
- компактность;
- функциональная организация плана;
- удачный пример освоения сложного рельефа;
- смешение элементов фантазии с реалиями жизни

Недостатки:
- не предусмотрены места для размещения производства, построены только жилые кварталы;
- невозможность дальнейшего развития поселения

Город Шо (Франция), XVIII в.
Автор концепции: Клод-Николя Леду (1736–1806) [5, 9]; изображение: [6]

Особенности:
- производственные помещения сознательно объединены с жилищами рабочих;
- центральная площадь круглой формы застроена главными городскими общественными зданиями;
- улицы расходятся радиальными лучами, обсажены деревьями;
- озеленённые кольцевые магистрали;
- здания без главных фасадов со всех сторон окружены пространством;
- близлежащая природа естественным образом вливается в пределы города

Достижения:
- окружающая среда перестаёт быть враждебной и становится частью жизни горожан;
- оптимальное чередование жилых и производственных пространств;
- одинаково благоприятные условия жизни в городе и деревне

Недостатки:
- идеальный город так и не был построен;
- тесная привязка к технологиям текущего времени приводит к потере смысла строительства ещё до окончания возведения объекта

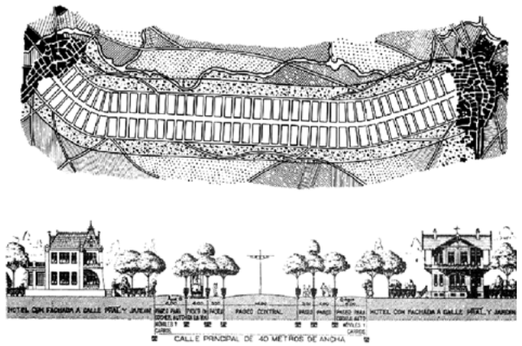
Город-сад (Англия), XX в.
Автор концепции: Эбинезер Говард (1850–1928) [6, 10]; изображение: [6]

Особенности:
- компактный размер;
- поясное зонирование;
- строится на землях несельскохозяйственного назначения;
- имеет зелёный (парковый) центр, где сосредоточены главные административные, торговые и культурные здания;
- улицы и бульвары радиально-кольцевой планировки застроены жилыми кварталами зданий коттеджного типа;
- радиус жилой зоны составляет примерно 1 км;
- на периферию вынесены сельскохозяйственные зоны и промышленность;
- несколько городов организованы в группу с единым центром

Достижения:
- предполагается равное и свободное участие каждого жителя в управлении социальным организмом города;
- идея города побудила движение по созданию обособленных самодостаточных поселений кооперативного типа (жилищных товариществ), способных решать жилищную проблему малоимущего населения;
- предложение строительства за пределами сложившихся городов позволило серьёзно снизить стоимость земли и дало возможность комплексного сооружения обслуживающей инфраструктуры и инженерных коммуникаций;
- упрощён процесс регулирования численности населения и размеров территории, нормирования величины земельных участков, а также осуществления контроля за их рациональным использованием;
- все объекты расположены в радиусе пешеходной доступности;
- в дальнейшем подобная идея воплощена в различных проектах городов XX в.

Недостатки:
- реализация идеи предпринята в разных странах, однако в чистом виде не осуществилась ни в одной из них;
- поскольку в подобных поселениях общая транспортная сеть начинает играть существенную роль, следовало учесть непосредственное участие государственных структур в разработке системы расселения;
- для полного воплощения идеи требуются значительные социально-политические преобразования;
- возведение поселений в разных странах в основном инициировалось крупными частными промышленными компаниями, стремившимися к улучшению жизни своих рабочих;
- вмешательство городских властей или инициаторов застройки, а также владельца земли и инвестора (промышленная компания) в функционирование жилищных товариществ исключает социальную суть данного начинания

Линейный город (Испания), XX в.
Автор концепции: Артуро Сориа-и-Мата (1844–1920) [5, 11]; изображение: [11]

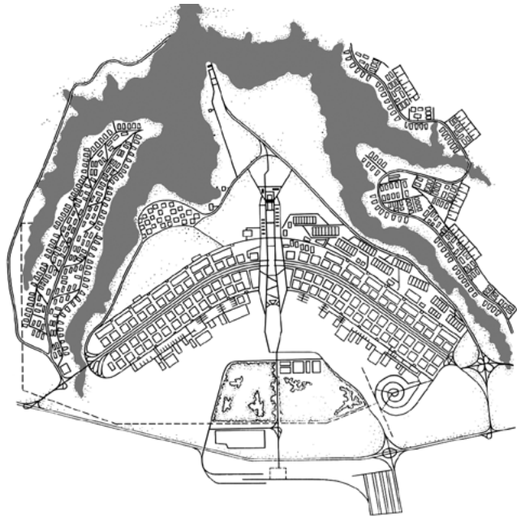


Особенности:
- реализация проекта – 1894–1910 гг.;
- рассчитан на 30 000 человек;
- построен в пригороде Мадрида узкой полосой вдоль трамвайной магистрали;
- транзитно-ориентированный город;
- транспортная сеть сформирована из главной магистрали шириной 40–100 м и поперечных улиц шириной 20–40 м;
- высота домов – до трёх этажей

Достижения:
- вид транспорта определяет форму города;
- сокращение времени передвижения;
- удобство ориентирования;
- отсутствие центра выравнивает стоимость земли по всей протяжённости;
- улучшение доступности к природе;
- каждой семье – дом, при каждом доме – сад;
- возможность развития городской структуры

Недостатки:
- протяжённость города удлиняет коммуникации и ограничивает пешеходную доступность к объектам общего пользования;
- удалённость от мест приложения труда;
- непривлекательность для размещения мест приложения труда;
- схема линейного города противоречит концепции самого города

Город Бразилиа (Бразилия), XX в.
Авторы концепции: Лусио Коста (1902–1998), Оскар Нимейер (1907–2012) [12]; изображение: [12]

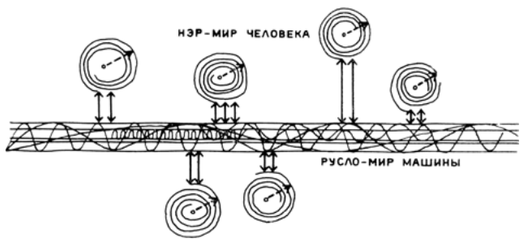


Особенности:
- является новой столицей Бразилии;
- построен в 1960 г.;
- использована идея линейного города;
- расположен на Бразильском плоскогорье на высоте 1050–1200 м над уровнем моря;
- включён в Список Всемирного наследия ЮНЕСКО;
- изначально спланирован для размещения 500 000 жителей, живущих в равных условиях

Достижения:
- построен строго по плану;
- чёткое функциональное зонирование;
- много свободных озеленённых пространств;
- в жилой части города автомобильное движение почти отсутствует (тишина и чистый воздух);
- предполагает равные условия проживания для всех горожан

Недостатки:
- по причине высоких цен на жильё из более чем 2,5 млн жителей столицы Бразилии только 400 000 живут в запланированном городе;
- свыше половины населения – иностранцы;
- город спроектирован для машин;
- пешеходные связи растянуты, много «мёртвого» пространства

Окончание таблицы

НЭР (новый элемент расселения) в системе линейного города (Россия), XX в. Авторы концепции: Алексей Гутнов, Илья Лежава и др. (группа НЭР) [13–15]; изображение: [15]	
	Особенности: • НЭР – кластер, своеобразная автономная единица в системе расселения; • схема расселения строится на основе транспортных и коммуникационных русел; • сложившиеся центры соединены с новой структурой; • значительно сокращены расстояния за счёт использования скоростного транспорта
	Достижения: • решение проблемы перенаселения больших городов; • ликвидация транспортного коллапса мегаполисов; • существенное улучшение экологии. Отношения «человек – природа» переводятся в дружественный режим; • формирование ресурсосберегающей экономики; • создание нового качества комфорта проживания
	Недостатки: • отсутствие скоростного линейного транспорта делает идею нереальной; • имеющиеся способы организации производства требуют кардинальной трансформации; • недостаточная проработка социальных изменений и способов перехода сложившейся государственной системы к новым видам самоуправления

Приведённый обзор выявляет позитивные параметры города будущего [16]:

- проживание в просторном, благоустроенном жилье;
- обеспечение повышенной безопасности;
- благоприятная экологическая обстановка;
- осуществление управления поселением согласно мнению обитателей;
- достаточное количество социальных объектов (школ, детских садов, больниц и т. д.);
- постоянное развитие и совершенствование транспортной системы;
- комфортные условия для групп населения с различными потребностями и предпочтениями.

Кроме того, на основе анализа концепций определены тупиковые направления, которые следует учесть в будущем во их избежание:

- отсутствие скоростного линейного транспорта как структурной основы системы расселения;
- отсутствие транспортных систем «второго уровня», освобождающих землю для пешеходов и растений;
- несовершенство социальной организации, где преобладает централизация, но не развито самоуправление;
- отсутствие механизмов регулирования численности населения городов и бесконтрольный рост мегаполисов;
- изолированность от живых природных ресурсов;
- противоречие между перспективой развития поселений и нехваткой территорий, а также затруднениями, связанными с транспортной доступностью;
- ограничения в развитии новых производств и новых мест приложения труда.

Учёт позитивных параметров города будущего обеспечит успех в создании поселений нового типа. Авторы считают, что правильный путь лежит в направлении развития идеи линейного расселения.

Линейный город как возможность выхода из урбанизационной ловушки

Профессор Московского архитектурного института И.Г. Лежава утверждал: «Один из парадоксов города будущего в том, что он никогда не будет построен. Это линия горизонта, которую невозможно достичь. Она всегда уносится вдаль и остаётся недосягаемой» [17]. Анализ показывает, что города и агломерации концентрированного (звёздчатого) типа теряют свою актуальность. Экологические и территориальные ресурсы в них практически исчерпаны, на урбанизированных землях происходит уничтожение природы, традиционная планировка становится непреодолимым препятствием для транспорта. Ежегодно в Азии от загрязнения атмосферы умирают 1,56 млн человек. Из-за изменений климата, вызванных деятельностью человека, опустынивание затрагивает 1/3 суши, в 2050 г. оно коснётся 2 млрд человек. К 2025 г. 2 млрд человек будут испытывать нехватку воды, а к 2050 г. это число может достичь 3 млрд человек [18].

Будущее принадлежит жилым единицам нового типа. Идея сформулирована следующим образом: «Город является целостным сложноорганизованным организмом, а следовательно, сложной системой. Город невозможно изучать иначе, чем по подсистемам, потому что, являясь частью целого и подчиняясь целостной системе, каждая из подсистем обладает относительной самостоятельностью, внутренней структурой, собственными признаками, интересами, ритмами функционирования, требует для своего описания иного языка… Идея линейной организации города стала настоящей революцией в умах людей, так как все известные до этого планы идеальных городов – круглые, шестигранные, города с радиальной системой планировки, с регулярной системой – были различны по своему устройству, но так или иначе являлись центрированными городами. Оформившись в цельную идею организации планировочной структуры в конце XIX в., тип «линейного города» остаётся актуальным и по сей день. Грамотное переосмысление основ и принципов линейного типа планировки позволит кардинально изменить ситуацию в крупных и крупнейших городах, а также транспортную проблему в масштабах целой страны или континента» [13, 14].

Поселения нового типа несут в себе черты идеального города, основанные на таких принципах, как [19]:

- ресурсосбережение – самодостаточное и цикличное использование ресурсов;
- доступность – справедливый и равный доступ к жилью, городским удобствам, принятию решений, занятости, здравоохранению, образованию, услугам, культуре, бизнесу, отдыху, культурному наследию, спорту и природе;
- чувство общности – сотрудничество и единство в социальных взаимодействиях, обмен навыками, совместная инициатива, поощрение значимых социальных связей;
- безопасность – устойчивость к изменению климата, экстремальным погодным явлениям, здоровая окружающая среда, доступ к важным ресурсам (продовольствие, вода, жильё и др.);
- желанность – место, где приятно находиться и хочется жить, где всё спроектировано в соответствии с человеческими потребностями и существуют привлекательные общественные пространства для отдыха, обучения и др.

Новый элемент расселения (жилой кластер) станет ключевой единицей среды обитания при соединении его с системой «русло – город». Его основа – транспортный коридор, по которому начнут перемещаться потоки людей, грузов (воды, энергии, полезных ископаемых и др.). Каналами передвижения будут дороги, трубопроводы, транспортёры и рельсовые системы. В русле, имеющем ширину 10–15 км, расположатся тысячи объектов: жилые поселения, заводы, образовательные центры, места отдыха и целые города. Вдоль русла и вблизи него появятся территории интенсивного землепользования: пахоты, фермы, пастбища, рыбные и лесные хозяйства. Многие участки, находящиеся вдали от русла, освободятся от населения; на покинутых местах возродится первозданная природа.

Бесконечные бетонные коробки, построенные за последнее время, будут успешно заменены новыми жилыми системами. Размещённые вдоль русел цепочки стотысячных городов, обладающих новыми экологическими стандартами проживания, близостью нетронутой природы и вместе с тем плотностью социальных контактов, свойственных центрам старых городов, образуют современную систему расселения, привлекающую активное население [14].

Ещё одной заметной тенденцией является переход от архитектуры фасада и объёма отдельного здания к созданию удобной для жизни и комфортной среды обитания. Во главу угла данной концепции ставятся задачи формирования города, все технические системы которого работают взаимосвязанно и стабильно в течение многих десятилетий. Такие свойства можно обеспечить на территории, имеющей ясно очерченные границы по площади участка и вместимости населения. Важным свойством этого города станет компактность. Всё необходимое для жизни будет в пределах пешеходной доступности. Здания города представят собой автономные и самодостаточные единицы, своеобразные «дома-машины для жилья». Планировочная структура – это «город-машина для жилья». Уйдут в прошлое спальные районы, их заменит градостроительный комплекс, дающий возможность жить, трудиться, отдыхать, получать новые знания, заниматься

любимым делом, наслаждаться природой, имея всё это в непосредственной близости. Кластерная планировка, соединённая современными транспортными системами, делает воплотимым всё перечисленное выше. В древние времена линейное расселение людей проходило вдоль русел рек. Современное расселение начнёт разворачиваться вдоль транспортных русел.

Новое наступает сегодня, но старое ещё долго будет сопровождать его и влиять на будущее. Использовать опыт прошлых времён, взять его достижения и учесть недостатки – вот задача для современного градостроителя. Профессор Пенсильванского университета В. Рыбчинский заметил: «Будущий город во многом будет новым, иным, но, чтобы успешно развиваться, он не должен пренебрегать тем, что было раньше. Связь между прошлым и настоящим, способность увидеть старое заново всегда были неотъемлемой частью нестандартных урбанистических решений» [20].

Линейный город на базе струнных транспортных систем

Струнный транспорт (ЮСТ; англ. – uST), разрабатываемый под руководством инженера А.Э. Юницкого, способен создать ту самую систему транспортных русел – коммуникационно-инфраструктурную сеть uNet. На её основе организуется линейная структура расселения – uCity, или линейный город в его новом понимании, где использованы экоориентированные (биосферные) технологии, как это определено в программе «ЭкоМир» [21].

Строительство uCity на базе транспортно-инфраструктурных технологий ЮСТ осуществляется в логике «умного города» (smart city), земля в котором принадлежит пешеходам и растениям. Отличительные элементы uCity – многофункциональные здания-доминанты со встроенными станциями транспортно-инфраструктурного комплекса ЮСТ, находящиеся в каждом кластере. Основу планировочной единицы такого города – жилого кластера – составляют автономные жилые здания: «горизонтальные небоскрёбы» (т. е. высотные дома, «лежащие на боку») или сблокированные в линию многоквартирные малоэтажные здания с набором инженерных систем, обеспечивающих своих обитателей всем необходимым для жизни, включая органические продукты питания, питьевую воду, электрическую и тепловую энергию, а также полный биосферный цикл переработки бытовых отходов.

В жилом кластере практически отсутствует наземный транспорт (кроме велосипедов и лёгких электромобилей), его заменяют городские транспортные системы ЮСТ, размещённые на втором уровне, лёгкие и ажурные, не дающие даже тени. Среди их преимуществ можно выделить:

- низкие капитальные и операционные затраты комплекса;
- нулевой выброс углекислого газа;
- улучшение биосферы благодаря внедрению инновационных агротехнологий, предназначенных для озеленения пустынных территорий;
- повышение качества жизни за счёт создания природной экосистемы строящихся городов;
- значительная экономия потребляемой энергии, использование возобновляемой энергии;
- существенное изменение логистики и удешевление девелоперских проектов;
- приведение городской инфраструктуры к единым стандартам качества;
- снижение до нуля рисков гибели людей на городских дорогах [22].

Жилые, производственные, образовательные, спортивные, рекреационные, сельскохозяйственные и иные кластеры размещены вдоль транспортно-энергетических и инфраструктурно-информационных русел сети uNet в соответствии со сложившейся региональной и общепланетарной природно-климатической ситуацией. Кластер обладает высокой степенью автономности и способен как потреблять, так и воспроизводить жизненно важные ресурсы, не загрязняя окружающую среду. Сеть uNet и система неопоселений обеспечат максимальное сохранение природы [23]. Надземные транспортные системы «второго уровня» при повсеместном применении освободят поверхность Земли для гармоничного сосуществования человека и живой природы. Рассредоточенная независимая жизнь, чувство близости к природе, объединение высокоскоростной транспортно-коммуникационной сетью со всем миром, быстрое, комфортное и безопасное передвижение по планете – вот преимущества линейного города кластерного типа.

Цель неопоселений – устранение нарастающих противоречий между биосферой и искусственно созданной техногенной средой. Человек, сотворённый эволюционно из плоти и крови, не конкурент естественной природе, а её дитя, делающее свои первые шаги, может жить в ней гармонично и с любовью относиться к своей матери-природе. Линейная система расселения на основе сети транспортно-инфраструктурных коммуникаций ЮСТ предоставляет такие возможности [24].

Прогноз дальнейшего развития поселений линейного типа приводит к выводу: в будущем ключевым общепланетарным коммуникационно-инфраструктурным комплексом станет экваториальный линейный город (ЭЛГ) длиной чуть более 40 000 км, построенный вдоль взлётно-посадочной эстакады общепланетарного транспортного средства (ОТС). ЭЛГ пройдёт по экватору через материки и океаны, т. е. охватит Землю в плоскости экватора. Размеры такого поселения впервые превысят размеры планеты [24].

В свою очередь геокосмический комплекс ОТС позволит очистить планету от техногенной урбанистической грязи – он вынесет всю вредную составляющую земной промышленности в ближний космос. Это возможно благодаря уникальным технико-экономическим характеристикам гигантского летательного аппарата: за один рейс ОТС способно экологически чисто доставить на орбиту до 10 млн тонн грузов и до 10 млн пассажиров при снижении стоимости геокосмических перевозок в тысячи раз по сравнению с ракетами-носителями.

ЭЛГ станет основным связующим звеном между живущим на планете человечеством (к тому времени порядка 10 млрд человек) и обслуживающей его космической индустрией – космическим индустриальным ожерельем «Орбита» (КИО «Орбита») [25]. КИО «Орбита» также будет выполнено в логике линейного города, только орбитального, с орбитальными предварительно напряжёнными

струнными коммуникациями, охватывающими планету в плоскости экватора, – лишь они обеспечат устойчивость функционирования этого гигантского промышленно-селитебного комплекса.

Орбитальные жилые кластеры планируется построить в виде ЭкоКосмоДомов (ЭКД) – замкнутых экосистем биосферного типа, внутри которых будут созданы наиболее комфортные для проживания космических поселенцев природно-климатические условия, по типу земных субтропиков [26].

Заключение

Модели гармоничного устройства жизни в рассмотренных исторических примерах различных городов предлагали разные способы достижения всеобщего блага путём разумной структуры общества и взаимоотношений между его членами. Материальная часть такой гармонии воплощалась через пространственную организацию городов как поселений идеального типа.

Анализ достижений и недостатков в приведённом обзоре позволяет выделить позитивные параметры города будущего и применить их в новых условиях. Современная цивилизация стремится обеспечить доступ в самые отдалённые точки планеты, увеличить скорости и уровень безопасности перемещения людей и грузов. Всемирная транспортная сеть uNet, реализованная на основе транспортно-инфраструктурных струнных технологий инженера А.Э. Юницкого, заложит базу линейной системы расселения. Возведение поселений нового линейного типа является ответом на запрос построения удобных мест для жизни как условия равного развития для всех.

Будущие геокосмические поселения линейного типа – ЭЛГ и КИО «Орбита» – откроют принципиально новый этап в эволюции земной человеческой популяции. Наша многомиллиардная техногенная цивилизация, созданная человеком и развивающаяся в течение тысячелетий, благодаря инженерным индустриальным технологиям станет космической и, как следствие, получит мощный импульс в своём развитии на миллионы лет вперёд, причём в принципиально новой логике: «Земля – для жизни. Космос – для индустрии».

Литература

1. *Витюк, Е.Ю. В поисках идеального города / Е.Ю. Витюк // Академический вестник. УралНИИпроект РААСН. – 2009. – № 2. – С. 67–72.*
2. *Платон. Государство / Платон; пер. с древнегреч. А.Н. Егунова. – М.: Академ. проект, 2015. – 398 с.*
3. *Жиров, Н.Ф. Атлантида. Основные проблемы атлантологии / Н.Ф. Жиров. – М.: Мысль, 1964. – 436 с.*
4. *Задбоев, И.Э. Представления об идеальном государстве у Платона, Томаса Мора и Томмазо Кампанеллы / И.Э. Задбоев, О.А. Горощенова // Молодежный вестник ИрГТУ. – 2020. – Т. 10, № 4. – С. 126–133.*
5. *Пешина, Э.В. Эволюция теоретико-методических подходов к познанию «идеального города» / Э.В. Пешина, А.В. Рыженков // Управленец. – 2013. – № 4 (44). – С. 32–40.*
6. *Тапалчинова, Д.Н. Проблемы проектирования идеальных городов / Д.Н. Тапалчинова, Н.А. Вахитова // 65-я юбилейн. университет. науч.-техн. конф. студентов и молодых учёных: сб. докл., Томск, 25 апр. 2019 г. / Томский гос. архитектур.-строит. ун-т. – Томск: ТГАСУ, 2019. – С. 769–778.*
7. *Мор, Т. Утопия / Т. Мор; пер. с латин. Ю.М. Каган. – М.: Наука, 1978. – 415 с.*
8. *Бобкова, О.Н. История зарождения и развития «коллективного» жилища / О.Н. Бобкова // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и дизайн: сб. ст. / Самар. гос. техн. ун-т. – Самара: СГТУ, 2017. – С. 11–14.*
9. *Леду, К.-Н. Архитектура, рассмотренная в отношении к искусству, нравам и законодательству / К.-Н. Леду; пер. О. Махнева. – М.: Архитектон, 2003. – 35 с.*
10. *Меерович, М.Г. Рождение и смерть города-сада: действующие лица и мотивы убийства / М.Г. Меерович // Вестник Евразии. – 2007. – № 1. – С. 118–166.*
11. *От идей Сориа-и-Мата до «Сибстрима» и «Стратегии-2030» / И.М. Долинская [и др.] // Universum: Технические науки. – 2021. – № 5 (86). – С. 63–74.*
12. *Вершинина, И.А. Бразилиа: реализованная утопия, но не сбывшаяся мечта? / И.А. Вершинина, А.Р. Курбанов // Латинская Америка. – 2020. – № 4. – С. 86–95.*
13. *Гутнов, А.Э. Будущее города. Творческая трибуна архитектора / А.Э. Гутнов, И.Г. Лежава. – М.: Стройиздат, 1977. – 126 с.*
14. *Лежава, И. Линейные города / И. Лежава // Отечественные записки. – 2012. – № 3 (48). – С. 95–107.*
15. *Гутнов, А.Э. Некоторые предпосылки формирования перспективной системы расселения / А.Э. Гутнов, И.Г. Лежава // Город и время. – М.: Стройиздат, 1973. – С. 273–287.*
16. *Потаев, Г.А. Экологическая реновация городов / Г.А. Потаев. – Минск: БНТУ, 2009. – 173 с.*
17. *Лежава, И. Будущее города [Электронный ресурс] / И. Лежава. – 2012. – Режим доступа: https://ilya-lezhava.livejournal.com/566.html. – Дата доступа: 04.07.2021.*
18. *Gauthier, G. The Linear City Promises Humane Living Spaces for Our Small Planet [Electronic resource] / G. Gauthier. – 2010. – Mode of access: http://www.citymayors.com/development/linear-cities.html. – Date of access: 01.07.2021.*
19. *Harrouk, C. The 5 Guiding Principles for an Ideal City [Electronic resource] / C. Harrouk. – 2021. – Mode of access: https://www.archdaily.com/957073/the-5-guiding-principles-for-an-ideal-city. – Date of access: 07.07.2021.*
20. *Rybczynski, W. Makeshift Metropolis: Ideas About Cities / W. Rybczynski. – New York: Scribner, 2010. – P. 240.*
21. *Программа «ЭкоМир» [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: http://ecospace.org/images/Program_EcoSpace_RU.pdf. – Дата доступа: 05.07.2021.*
22. *Линейный город SkyWay в Абу-Даби [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://unitsky.engineer/assets/files/shares/2015/2015_05.pdf. – Дата доступа: 23.01.2021.*
23. *Юницкий, А.Э. Устойчивое развитие населённых пунктов и улучшение их коммуникационной инфраструктуры с использованием струнной транспортной системы [Электронный ресурс] / А.Э. Юницкий // Междунар. семинар в рамках проекта Центра ООН по населён. пунктам (Хабитат) № FS-RUS-98-S01-A. – Режим доступа: https://unitsky.engineer/assets/files/shares/1999/1999_04.pdf. – Дата доступа: 23.01.2021.*
24. *Юницкий, А.Э. Экваториальный линейный город как альтернатива концепции «умных городов» / А.Э. Юницкий, С.С. Семёнов // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / Астроинженерные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 223–229.*
25. *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. / Астроинженерные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 41–49.*
26. *Юницкий, А.Э. Особенности проектирования 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. / Астроинженерные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 51–57.*

УДК 711.416-122

Экваториальный линейный город: особенности строительства

Юницкий А.Э.[1,2]
Давыдик М.М.[2]

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

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

Рассмотрены вопросы, связанные с организацией структуры линейного поселения – экваториального линейного города (ЭЛГ), размещённого вдоль стартовой эстакады общепланетарного транспортного средства (ОТС). Обозначены области экваториальной зоны, предпочтительные для расположения основных планировочных элементов линейного города с учётом климата, геологической линии экватора и сложившейся структуры расселения. Указаны направления поиска новых систем планировки. Описаны условия, влияющие на местонахождение, функционирование и эволюцию жилых кластеров ЭЛГ. Предложено проанализировать организацию застройки линейного типа агрегировано с системами транспорта «второго уровня», отметив актуальность комплексного подхода.

Ключевые слова:
экваториальный линейный город (ЭЛГ), линейный тип расселения, «умные города», жилой кластер, геологическая линия экватора, экваториальный климат, транспортные системы «второго уровня», общепланетарное транспортное средство (ОТС).

Введение

Будущее городских поселений в силу особенностей их роста на протяжении последнего времени вызывает тревогу и побуждает к поиску приемлемых решений в планировании урбанизированной среды. В XX в. специалисты по урбанистике обозначали, что «городская ткань будет приобретать всё более чётко выраженную дискретную организацию, поскольку самодостаточность и внутренняя завершённость её структурных единиц становятся одним из определяющих условий создания полноценной жизненной среды – окружения, отвечающего задачам формирования гармоничной личности, обеспечивающего соответствующий комфорт жизни и стимулирующего социальную активность» [1].

В настоящей статье авторы предлагают обратить внимание на взаимосвязь развивающихся городских структур с организацией транспортных коммуникаций.

Становлению человечества сопутствует совершенствование транспортных систем. Заселяются необжитые местности, делаются открытия, осваиваются неизвестные ранее ресурсы. Однако территории конечны, ресурсы не безграничны, а стремление к другим открытиям не имеет пределов. Люди изобретают более рациональные способы расселения, конструируют и производят новые виды транспорта. Прогресс в этом направлении уже привёл цивилизацию к недопустимому техногенному вмешательству в природу. Искусственная среда вытесняет естественные экологические системы. Невиданное ранее количество промышленных и бытовых отходов начинает превышать адаптивные возможности планеты [2, 3]. Подобное положение вызывает необходимость бережного отношения к среде обитания. Озабоченность состоянием окружающей среды отражается в международных соглашениях (Киотский протокол, Парижское соглашение), а также в национальных законодательствах [4].

Противоречия между технологическим прогрессом цивилизации и устоявшимися циклами природы растут и диктуют иные подходы к организации жизни общества, требуют современного взгляда на использование, сохранение и возобновление природных ресурсов. Снять эти противоречия достижимо разумным распределением экологической нагрузки и организацией систем безотходного производства и потребления жизненных благ.

Строительством городов линейного типа можно решить проблему перенаселения мегаполисов и улучшить доступ к живым природным источникам. Возведением домов экологического типа реально снизить энергозатраты и исключить загрязнение окружающей среды бытовыми отходами.

Города нового поколения – линейные города – разрабатываются в рамках программы «ЭкоМир». Создать ЭкоМир, включающий БиоМир, ТехноМир и ХомоМир, – насущная задача для получения приемлемых условий устойчивого роста и эволюционирования техногенной цивилизации в пределах Земли и в космическом направлении [5].

Развитие технологий непременно уведёт человечество за границы земного пространства, к масштабному освоению ближнего и дальнего космоса. В программе «ЭкоМир» указано, что данная цель будет достигнута посредством безракетной технологии с помощью строительства и эксплуатации общепланетарного транспортного средства (ОТС) и космического индустриального ожерелья «Орбита» (КИО «Орбита»). Одним из главных вопросов, который предстоит решить в процессе реализации ОТС, является организация поселений для соответствующего ресурсного обеспечения ОТС. Оптимальное место расположения ОТС – экваториальная зона. Как следствие, дислокация обслуживающих его систем планируется в экваториальном линейном городе (ЭЛГ) [6, 7].

ЭЛГ – земной компонент геокосмического транспортно-коммуникационного комплекса, на территории которого находится взлётно-посадочная эстакада со всей инфраструктурой, необходимой для осуществления полётов ОТС и обслуживания глобальных геокосмических грузо-пассажирских потоков. ЭЛГ гармонично вписан в природную среду сухопутных и водных участков планеты в виде системы расселения нового типа (поселения кластерного типа, которые размещены в полосе экваториальной зоны и соединены между собой транспортными системами «второго уровня» – трассами Струнного транспорта Юницкого (ЮСТ; англ. – uST) [8]).

Климатические и географические особенности экваториальной зоны

Строительство ЭЛГ планируется непосредственно в районе экватора. Следовательно, требуется учитывать климатические и географические особенности местности. С одной стороны, экваториальный пояс характеризуется идеальными условиями для жизни и развития жилых поселений. С другой – по этой же причине его площади уже интенсивно заселены не только людьми, но и многочисленными представителями животного и растительного мира. Умение войти в живую ткань сложноустроенного сообщества новым искусственным образованием, не нарушив хрупкого равновесия, в конечном счёте определит успех реализации проекта.

Экваториальный климатический пояс локализован по обе стороны экватора и имеет самую богатую экологическую систему на Земле. Среднегодовая температура воздуха в области Зондских островов и южной части Филиппинских островов составляет 24–26 °С. Максимальная температура – 37 °С, минимальная не опускается ниже 17 °С. За год выпадает 2000–3000 мм осадков. Влажность воздуха не превышает 90 % [9].

В Южной Америке в районе экваториального пояса расположена почти вся Амазонская низменность, юг Оринокской низменности и Гвианского нагорья. Годовая норма осадков – 2000–3000 мм, на западных склонах Анд – до 6000 мм. Температура воздуха находится на отметке 24–30 °С [9].

В Африке экваториальный пояс охватывает котловину Конго до восточного побережья оз. Виктория и проходит узкой полосой вдоль северного побережья Гвинейского залива. Температура воздуха на данной территории держится на уровне 24–30 °С. Влажность воздуха – 90 % и более. Количество осадков доходит до 3000 мм в год [9].

Основные международные географические организации приняли условный вид экватора в форме окружности, тем не менее по линии экватора на материках рельеф имеет перепады в пределах 6000 м. Линия экватора пролегает по дождевым лесам, высокогорным равнинам, пересекает скалистые горные цепи, крупные водоёмы и даже вулкан, проходит через зоны землетрясений. По результатам проведённой под эгидой ООН оценки глобальной сейсмической опасности была составлена предельно точная карта сейсмической опасности (рисунок 1). Наиболее активные сейсмические зоны Южной Америки расположены вдоль тихоокеанского побережья континента. В Африке сейсмоактивность почти не наблюдается в её центральной части. Острова Индонезии, Фиджи и Тонга переживают рекордное число землетрясений. Учитывая протяжённость эстакады ОТС, существует высокая вероятность испытывать постоянное влияние указанных факторов.

Атмосферные явления в экваториальных районах находятся под влиянием земной поверхности и распространяются на всю толщу тропосферы. В тропосфере Земли выделены три (в каждом полушарии) циркуляционных элемента: ячейка Хэдли (экваториальные широты), ячейка Форелла (умеренные широты) и полярная ячейка (рисунок 2). Атмосфера экваториальной зоны формируется из тропических воздушных масс, принесённых пассатами Северного и Южного полушарий с преобразованием воздуха в сторону его увлажнения.

Экваториальный пояс в низинной части признан не самым лучшим местом для жизнедеятельности. Не каждому человеку под силу выдержать условия труднопроходимых влажных многоярусных лесов. Вместе с тем экваториальные леса являются «лёгкими» планеты.

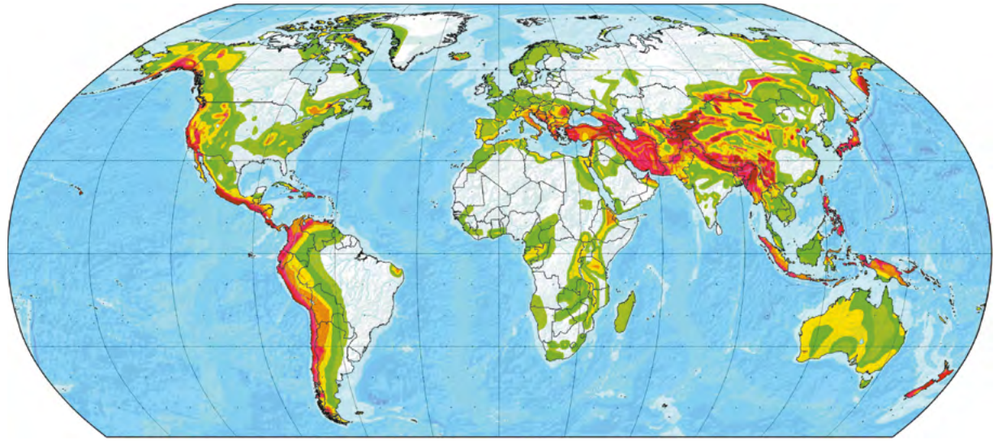


Рисунок 1 – Карта сейсмической опасности [10]

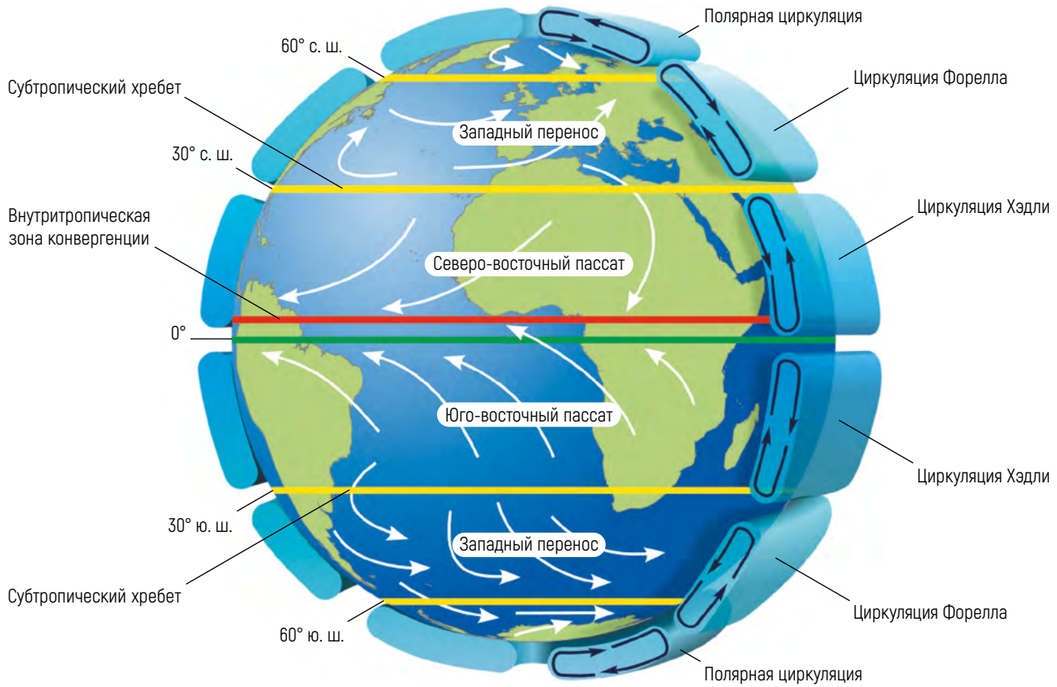


Рисунок 2 – Циркуляционные ячейки в тропосфере [11]

Климат нагорных районов экваториального пояса – это вечное лето с регулярными дождями, постоянным солнцем и теплом. Условия благоприятны для проживания людей, а также благодатны для земледелия (имеется возможность дважды в год собирать урожай) [11, 12]. Нагорные районы имеют достаточно плотную заселённость (рисунки 3–6). Линия экватора на приведённых иллюстрациях обозначена красным цветом.

На начало 2021 г. плотность населения по странам экваториального пояса составляла (чел/км^2): Сомали – 24,22; Кения – 81,75; Уганда – 166,01; Демократическая Республика Конго – 37,01; Конго – 15,73; Габон – 8,12; Бразилия – 24,73; Колумбия – 42,27; Эквадор – 64,15; Индонезия – 140,15. При этом средняя плотность населения Земли – 57,7 чел/км^2 [12, 13].

Рисунок 3 – Жилая застройка и фермерские хозяйства в экваториальной зоне – оз. Солай (Кения, Африка) [14]

Рисунок 4 – Экваториальная зона – г. Найяеруру (Кения, Африка) [14]

Проводя анализ потенциальных площадок для строительства эстакады ОТС и сопутствующего ей ЭЛГ, отметим, что настала необходимость сосредоточиться на формулировке точного технического задания, описывающего все требования к системе. Для этого нужно объединить усилия не только инженеров, но также привлечь специалистов, имеющих компетенции в иных областях знаний (урбанистов, экологов, биологов, экономистов, социологов и др.).

Если отправиться в кругосветное путешествие по линии экватора с побережья Индийского океана в Сомали и продолжить его в западном направлении, то путь пройдёт через страны Африки, Южной Америки и острова Индонезии по маршруту, отображённому в таблице.

Рисунок 5 – Экваториальная зона – г. Сан-Антонио (Эквадор, Южная Америка) [14]

Рисунок 6 – Экваториальная зона – г. Понтианак (Индонезия, Евразия) [14]

Таблица – Анализ дистанции пути по линии экватора с учётом рельефа

Географическое местоположение	Дистанция пути, км	Отрезок пути, км	Высота над уровнем моря, начало, м	Высота над уровнем моря, окончание, м
1	2	3	4	5
1. Африка		**4026**		
1.1. Сомали		**211**		
1.1.1. Сомали (берег Индийского океана – поселение)	0–24	24	0	7
1.1.2. Поселение – река	24–25	1	7	10
1.1.3. Река	25–40	15	10	0
1.1.4. Река – граница с Кенией	40–211	171	0	89
1.2. Кения		**780**		
1.2.1. Граница с Сомали – Хагадера Рефьюджи Кэмп	211–279	68	89	124
1.2.2. Хагадера Рефьюджи Кэмп – Ижара	279–319	40	124	168
1.2.3. Ижара – Айло	319–461	142	168	338
1.2.4. Айло – Меру	461–502	41	338	378
1.2.5. Меру – Нхарака Нити	502–519	17	378	476
1.2.6. Нхарака Нити – Меру	519–556	37	476	859
1.2.7. Меру (жилая зона)	556–594	38	859	2163
1.2.8. Меру (жилая зона) – Нанюки	594–632	38	2163	2409
1.2.9. Нанюки	632–666	34	2409	1817
1.2.10. Зелёная зона	666–677	11	1817	1920
1.2.11. Фермы	677–700	23	1920	2098
1.2.12. Фермы – Ндогино	700–717	17	2098	2297
1.2.13. Ндогино – Найяеруру (взлётно-посадочная полоса)	717–726	9	2297	2364
1.2.14. Найяеруру (взлётно-посадочная полоса) – Шаменеи	726–737	11	2364	2555
1.2.15. Шаменеи – Сабекия	737–739	2	2555	2298
1.2.16. Сабекия – Солай	739–748	9	2298	2085
1.2.17. Солай – Баринго	748–749	1	2085	2037
1.2.18. Баринго – Моготио	749–769	20	2037	1548
1.2.19. Моготио – экватор	769–807	38	1548	2515
1.2.20. Экватор	807–829	22	2515	2563
1.2.21. Экватор – Нанди Хиллс	829–871	42	2563	1725
1.2.22. Нанди Хиллс – восток Кахулу	871–897	26	1725	1739
1.2.23. Восток Кахулу – оз. Виктория	897–991	94	1739	1135
1.3. Уганда		**478**		
1.3.1. Оз. Виктория – остров б/н	991–1026	35	1135	1147

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5
1.3.2. Остров б/н	1026–1027	1	1147	1135
1.3.3. Озеро	1027–1109	82	1135	1135
1.3.4. Остров б/н	1109–1112	3	1135	1150
1.3.5. Озеро	1112–1123	11	1150	1135
1.3.6. Остров б/н	1123–1129	6	1135	1150
1.3.7. Остров б/н – озеро – берег оз. Виктория	1129–1178	49	1150	1135
1.3.8. Берег оз. Виктория – Кайябве	1178–1206	28	1135	1147
1.3.9. Кайябве – Сеета	1206–1216	10	1147	1142
1.3.10. Сеета	1216–1223	7	1142	1159
1.3.11. Сеета – Бironго	1223–1232	9	1159	1152
1.3.12. Бironго – Кибиси – Китэми	1232–1264	32	1152	1179
1.3.13. Каванда	1264–1290	26	1179	1218
1.3.14. Нтуси	1290–1307	17	1218	1291
1.3.15. Бугологоло	1307–1324	17	1291	1245
1.3.16. Рвемикома – Казо	1324–1363	39	1245	1291
1.3.17. Касози – Лвемизиму	1363–1406	43	1291	965
1.3.18. Оз. Джордж	1406–1424	18	915	915
1.3.19. Катохо – граница с Демократической Республикой Конго	1424–1469	45	918	1053
1.4. Демократическая Республика Конго		**1621**		
1.4.1. Граница с Кенией – Киондо	1469–1502	33	1053	1970
1.4.2. Киондо – Мьюзенен	1502–1524	22	1970	1783
1.4.3. Джунгли	1524–3022	1498	1783	310
1.4.4. Мбанджа	3022–3039	17	310	318
1.4.5. Мбанджа – граница с Конго	3039–3090	51	318	322
1.5. Конго		**426**		
1.5.1. Граница с Демократической Республикой Конго – Макуа	3090–3325	235	322	330
1.5.2. Макуа	3325–3330	5	330	303
1.5.3. Джунгли (Макуа – граница с Габоном)	3330–3516	186	303	539
1.6. Габон		**510**		
1.6.1. Граница с Конго – джунгли – побережье Атлантического океана	3516–4026	510	539	0
2. Атлантический океан		**6534**		
2.1. Океан (берег Габона – о. Сао-Томе)	4026–4339	313	0 (66)	(66) 0
2.2. Океан (о. Сао-Томе – берег Южной Америки)	4339–10 560	6221	0	0

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5
3. Южная Америка		**3417**		
3.1. Бразилия		**2304**		
3.1.1. Побережье Атлантического океана – дельта Амазонки – Масара	10 560–10 751	191	0	5
3.1.2. Масара	10 751–10 755	4	5	7
3.1.3. Масара – Сантана	10 755–10 763	8	7	18
3.1.4. Сантана	10 763–10 766	3	18	3
3.1.5. Сантана – джунгли – граница с Колумбией	10 766–12 864	2098	3	170
3.2. Колумбия		**616**		
3.2.1. Граница с Бразилией – джунгли – граница с Эквадором	12 864–13 480	616	170	199
3.3. Эквадор		**497**		
3.3.1. Граница с Колумбией – джунгли Мариан	13 480–13 554	74	199	248
3.3.2. Мариан	13 554–13 562	8	248	250
3.3.3. Мариан – джунгли – гора	13 562–13 738	176	250	3246
3.3.4. Гора	13 738–13 748	10	3246	4666
3.3.5. Гора – Кунибуро	13 748–13 765	17	4666	2954
3.3.6. Кунибуро – Асьенда Танда	13 765–13 784	19	2954	2480
3.3.7. Асьенда Танда – Сан-Антонио	13 784–13 797	13	2480	2406
3.3.8. Сан-Антонио	13 797–13 804	7	2406	2773
3.3.9. Калакали	13 804–13 813	9	2773	2730
3.3.10. Калакали – джунгли – побережье Тихого океана	13 813–13 977	164	2730	0
4. Тихий океан, Индонезия и вулкан Вульф (океан/суша)		**18 746/1501**		
4.1. Океан (берег Эквадора – вулкан Вульф)	13 977–15 224	1247	0	0
4.2. Вулкан Вульф (Галапагосские острова)	15 224–15 256	32	0–1186	1186–0
4.3. Океан (вулкан Вульф – Маршалловы острова)	15 256–25 809	10 553	0	0
4.4. Океан (Маршалловы острова – Индонезия)	25 809–30 644	4835	0	0
4.5. Остров б/н	30 644–30 644	0,05	11	2
4.6. Океан (лагуна)	30 644–30 644	0,07	0	0
4.7. Остров б/н	30 644–30 644	0,07	0–262	262–0
4.8. Океан (лагуна)	30 644–30 644	0,26	0	0
4.9. Остров б/н	30 644–30 645	0,1	0–77	77–0
4.10. Океан (лагуна)	30 645–30 645	0,08	0	0
4.11. Остров б/н	30 645–30 645	0,07	0–62	62–0

Окончание таблицы

1	2	3	4	5
4.12. Океан	30 645–30 646	0,81	0	0
4.13. Остров б/н	30 646–30 646	0,02	0–50	50–0
4.14. Океан	30 646–30 646	0,03	0	0
4.15. Остров б/н	30 646–30 646	0,08	0–20	20–0
4.16. Океан	30 646–30 650	4,24	0	0
4.17. Остров б/н	30 650–30 650	0,15	0–40	40–0
4.18. Океан	30 650–30 651	0,64	0	0
4.19. О. Балабалак	30 651–30 654	3,26	0–254	254–0
4.20. Океан (о. Балабалак – о. Джу)	30 654–30 709	54,73	0	0
4.21. Океан (о. Джу – о. Гебе)	30 709–30 733	24,22	0	0
4.22. О. Гебе	30 733–30 735	2,49	0–72	72–0
4.23. Океан	30 735–30 899	163,21	0	0
4.24. Северный Малуку	30 899–30 920	21,4	0–222	222–0
4.25. Океан	30 920–30 967	47,3	0	0
4.26. О. Кайоа	30 967–30 970	3,11	0–320	320–0
4.27. Океан (лагуна)	30 970–30 971	0,75	0	0
4.28. Остров б/н	30 971–30 972	1,34	0	0
4.29. Океан (море Хальмахера, Молуксское море, залив Томини)	30 972–31 787	814,55	0	0
4.30. О. Сулавеси	31 787–31 811	24,24	0–378	378–0
4.31. Океан (лагуна)	31 811–31 832	20,49	0	0
4.32. О. Сулавеси	31 832–31 835	3,21	0–320	320–0
4.33. Океан	31 835–32 076	240,77	0	0
4.34. О. Калимантан (фермы и плантации, г. Понтианак)	32 076–33 005	928,92	0–831	831–0
4.35. Океан	33 005–33 514	508,92	0	0
4.36. О. Лингга	33 514–33 524	10,85	0–10	10–0
4.37. Океан	33 524–33 600	76,02	0	0
4.38. О. Суматра (фермы, плантации, населённые пункты)	33 600–34 059	458,4	0–1055	1055–0
4.39. Океан	34 059–34 201	142,38	0	0
4.40. О. Танахмаса	34 201–34 210	8,73	0–25	25–0
4.41. Океан (лагуна)	34 210–34 220	9,64	0	0
4.42. Остров б/н	34 220–34 220	0,55	0–18	18–0
4.43. Океан (пролив)	34 220–34 222	1,72	0	0
4.44. Остров б/н	34 222–34 223	1,53	0–15	15–0
5. Индийский океан		**6159**		
5.1. Океан (побережье о. Танахмаса – побережье Сомали)	34 223–40 382	6158,7	0	0

Экваториальный линейный город в районе эстакады ОТС

В данной статье рассмотрены особенности строительства ЭЛГ на сухопутных участках экваториальной зоны. В таблице отображена протяжённость суши на континентах и островах по линии экватора по следующим территориям:

- Африка – 4026 км (в том числе 1498 км – джунгли);
- Южная Америка – 3417 км (в том числе 2098 км – джунгли);
- острова Индонезии и вулкан Вульф – 1501 км.

Протяжённость дистанции по суше (включая острова) – 8944 км (в том числе 3596 км – джунгли). Протяжённость по океанам – 31 438 км. Следует отметить, что дистанция по суше указана с учётом рельефа. Если считать по радиусу Земли, то протяжённость суши в проекции на окружность экватора равна 8637 км. Говоря о строительстве ЭЛГ в районе эстакады ОТС, необходимо понимать, что речь не идёт о сплошной застройке. Структура поселений ЭЛГ образуется системой градостроительных комплексов, объединённых транспортно-коммуникационной осью. Проектные решения по каждому комплексу принимаются с учётом местных условий.

Эстакада ОТС, вдоль которой находятся функциональные элементы системы (кластеры), является главной осью ЭЛГ. Для того чтобы определить конкретное положение кластеров на той или иной территории, надлежит разработать технико-экономическое обоснование (ТЭО) строительства ЭЛГ, что потребует детального исследования и расчётов по всем элементам комплекса.

Высокая степень автоматизации и роботизации ОТС не исключает участия человека. На всём протяжении геокосмического сооружения присутствует обслуживающий и производственный персонал. Строительством ЭЛГ решается задача жизненного обеспечения всех категорий работников, занятых в обслуживании ОТС, а также их семей.

Основные элементы ЭЛГ распределяются вдоль эстакады ОТС согласно общей функциональной схеме. Их территориальное положение зависит от условий местности и в каждом конкретном случае определяется при соответствующем обосновании. Использование надземных транспортно-инфраструктурных комплексов ЮСТ намного упрощает решение задач транспортной доступности [6, 8].

Основные элементы проектируемой структуры:

- эстакада ОТС с размещёнными на ней инженерными и коммуникационными сетями;
- комплексы астронавигации и автоматизированного управления ОТС;
- производственные кластеры по сборке, обслуживанию и ремонту узлов ОТС;
- энергетические кластеры, обеспечивающие энергией все части геокосмического комплекса и процессы взлёта-посадки ОТС;
- участки глобальной сети uNet, сети регионального и внутригородского транспортного сообщения;
- логистические центры, пересадочные станции, пассажирские вокзалы;
- жилые комплексы;
- кластеры с учебными, культурными, оздоровительными и спортивными учреждениями;
- кластеры по производству и переработке сельхозпродукции;
- сохраняемые и развиваемые природные комплексы.

Для обоснования принимаемых решений при проектировании ЭЛГ необходимо обратиться к техническим нормативным правовым актам (ТНПА), действующим на территориях государств экваториального пояса. Поскольку требования ТНПА в разных странах могут варьироваться, при планировании элементов ЭЛГ следует разработать, согласовать и утвердить значительные пакеты документов, имеющих межнациональный статус.

Как правило, планировку и застройку населённых пунктов и территорий в пределах границ их перспективного развития действующие ТНПА [15] предписывают осуществлять на основе государственных и региональных программ социально-экономического роста, градостроительных регламентов, градостроительных проектов общего, детального и специального планирования, утверждённых в установленном порядке. При застройке кластеров и линейных объектов ЭЛГ будут гармонизированы требования национальных законодательств и требования, предъявляемые непосредственно к элементам возводимой структуры.

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).

При планировании и застройке жилых кластеров особое внимание уделяется безопасности среды обитания для мира человека, мира растений и мира животных. Тщательное изучение экологической картины местности предшествует любому строительству. Процедура экологической оценки является обязательной частью ТЭО. Если вмешательство в окружающую среду не улучшает или не поддерживает её состояние,

то подобная интерцессия недопустима. Иначе исчезает смысл защиты и сохранения экосистемы планеты.

Новое строительство во многих случаях планируется в сложившихся и обжитых местах. Возникает необходимость проведения мероприятий по их реновации. Модернизируются не соответствующие современным требованиям территории и устаревшие транспортные и инженерные коммуникации. При этом используются наработанные методики сохранения естественно существующих городов, освобождающие их от всего лишнего и закрепляющие всё ценное и характерное. Территории для нового строительства размещаются в пределах доступности к пересадочным узлам и станциям сети uNet.

Жилая застройка ЭЛГ формируется из самодостаточных гармонично спроектированных единиц. Основной характеристикой каждой жилой единицы является высокое качество жизненной среды. Воздух, вода, почва, а также флора и фауна не подвергаются угнетающему или разрушающему воздействию. Новые поселенцы оставляют достаточно места для живой природы.

Жилой кластер как элемент ЭЛГ

Новизна идеи, заложенной в планировочный элемент, заключается в жилом доме, который экологически совместим с природой и создаёт условия, максимально поддерживающие её естественное состояние. Здание обладает встроенными технологиями, гарантирующими полный жизненный цикл системы и исключающими какое-либо загрязнение окружающей среды. Несколько домов образуют группу, расположенную в шаговой доступности от основных функциональных зон поселения. Группы строений объединяются в жилые кластеры, содержащие комплексы социально-бытового обслуживания и энергетического обеспечения. Данный сектор представляет собой не только жилую, но и экономическую единицу ЭЛГ; его площадь колеблется в пределах 1–2 км^2 (100–200 га) при длине 1000–1500 м и ширине 1000–1500 м (рисунок 7).

Кластер спланирован в виде населённого пункта городского типа, вписанного в окружающую среду. В нём комфортно проживают от 2000 до 5000 человек, снабжающих себя всем необходимым, включая пищу, воду, энергию и доступ к полному набору современных услуг. Подобная целостность даст возможность поселению самодостаточно функционировать даже в условиях пандемии, временной изоляции или стихийных бедствий.

Жилая зона кластера разбита на кварталы, разделённые лесопарковой полосой шириной 100–200 м, где находятся места общего пользования для жителей и гостей: зоны досуга и спорта, различные общественные здания и сооружения, спортивные площадки, стадион, оздоровительный центр, медицинский пункт, магазины, кафе, мастерские, детские сады, школа. Лесопарковые полосы (рисунок 8) позволяют устроить продольные и поперечные трассы ЮСТ для связи с параллельно размещёнными линейными поселениями и их кластерами. В общественной зоне кластера могут располагаться офисы или филиалы различных специализированных компаний, занятых в обслуживании ОТС.

Жилые дома-квартиры сблокированы в единый функциональный комплекс в логике многоквартирного «горизонтального небоскрёба», имеющего длину порядка 400–500 м (рисунок 9). В одном подобном «небоскрёбе» соединены 15–25 одноквартирных домов длиной 12–40 м и шириной 12–15 м каждый. Здание имеет проезды шириной не менее 4 м для доступа к земельному участку, находящемуся во внутреннем дворе. Дом-квартира общей площадью 200–300 м^2 рассчитан на проживание средней семьи из 3–5 человек.

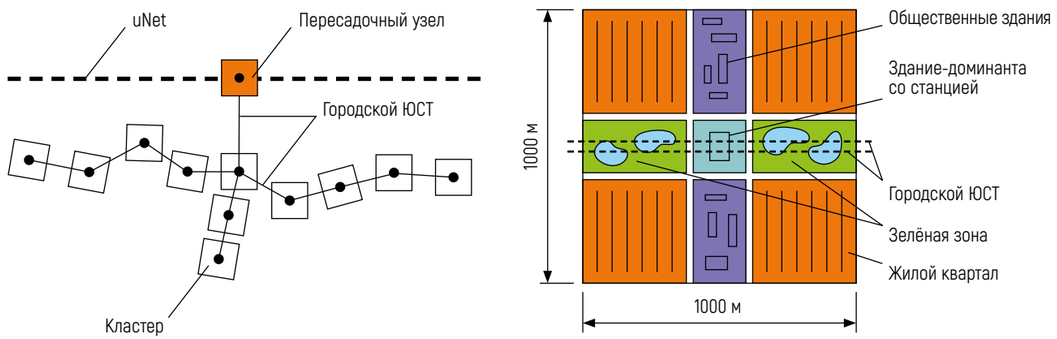


Рисунок 7 – Схема организации жилого кластера (вариант)

Рисунок 8 – Вид на рекреационную зону жилого кластера (вариант)

Рисунок 9 – Общий вид жилой застройки в кластере (вариант)

Строения по фронтальной длине могут быть разными – от 12 м (на 1–2 человека) до 40 м и более (на семью из 10 человек и более). Два дома на уровне первого этажа соединяются «стена к стене». Проезды на приусадебные участки устраиваются между парами домов. Жилая часть построек спроектирована по принципу свободной планировки. Конструктивная схема здания обеспечивает возможность организации внутреннего пространства по желанию его обитателей.

Крыши домов выполнены в виде застеклённых теплиц (или оранжерей), которые объединены между собой центральным коммуникационным коридором шириной 2–3 м, предназначенным для прокладки инженерных сетей и обслуживающего подвесного струнного транспорта.

По торцам «горизонтального небоскрёба» оборудуются технические помещения, устанавливаются грузовые лифты. Цокольный этаж размещается на общем фундаменте на всю длину здания и имеет по центру технический проход (проезд) шириной 2–3 м для обслуживающей техники. Здесь располагаются помещения для выращивания микрозелени и грибов, содержания перепелов и других мелких птиц и животных, а также для разведения аквакультур. В целях совместной эксплуатации здания и управления технологическими процессами всех уровней организуется кондоминиум. Любые вопросы, связанные с общей собственностью, обсуждаются на собраниях собственников.

Биотехнологии, разрабатываемые под руководством инженера А.Э. Юницкого, предусматривают безотходные процессы выращивания и потребления продуктов питания. Вместо отходов по завершении технологического цикла получается биологический гумус, который возвращается в виде удобрений в новый цикл. Кластер обеспечен

собственными генерирующими мощностями, включёнными в единую энергосистему.

Подобный принцип естественным образом адаптирует застройку к любым географическим условиям и особенностям местности. Он применим и в гористой части экваториальной зоны. Ряды сблокированных домов размещаются на организованных террасах и принимают форму, соответствующую рельефу. Богатый пейзаж в районе Анд (Южная Америка) и живописный ландшафт в районе оз. Виктория (Африка) позволяют в новых жилых поселениях соединить достижения современной цивилизации и национальные архитектурные традиции. Транспортные комплексы «второго уровня» снимают ограничения, свойственные горным поверхностям, – перепад рельефа не препятствует доступу к объектам. Инженерные коридоры выпрямляются и значительно снижают протяжённость основных коммуникаций. Ранее труднодоступные территории становятся привлекательными и удобными для жизни.

Новая система создаёт неограниченные возможности для беспрепятственной смены места жительства. Население становится чрезвычайно мобильным на всей планете и даже за её пределами.

Стадии жизненного цикла ЭЛГ

Новый элемент расселения, как любой капитальный объект, в своём функционировании проходит определённые стадии жизненного цикла:

- замысел – выбор эффективного использования участка;
- проектирование – разработка проекта, получение экспертных заключений и согласований;
- возведение – реализация проекта соответствующими подрядными организациями, закрепление возведённого объекта в инвентаризационных и кадастровых документах;
- обращение – возникновение имущественных прав и обременений, осуществление операций с объектами недвижимости;
- эксплуатация – техническое обслуживание и рациональное расходование потребительского потенциала объектов;
- модернизация – перепрофилирование или изменение функционального назначения объектов с ликвидацией устранимого физического износа;
- утилизация – снос, захоронение или вторичное использование материалов, завершение жизненного цикла объектов [16].

Любой капитальный объект имеет свой срок службы. Некоторые здания становятся культурно-историческими и архитектурными памятниками, но основная их часть превращается в строительный мусор и создаёт проблему для живой природы. Материалы для их возведения были изъяты из естественной среды, собраны в определённом порядке и лишены возможности вернуться на первоначальное место. При этом они по-прежнему остаются в природе и принимают участие в обменных процессах.

Новый подход к строительству, принятый при организации ЭЛГ, основан на абсолютном исключении негативного влияния на окружающую среду. Все процессы в нём сформированы с целью устранить:

- чрезмерный расход энергоресурсов;
- изменение окружающей среды и ландшафтов;
- уничтожение представителей флоры и фауны или вытеснение их с привычных мест проживания;
- перегрузку транспортной системы и загрязнение атмосферы строительной техникой и пылью (особенно тонкодисперсными частицами);
- негативное воздействие на природу сточными водами;
- увеличение объёма бытового и промышленного мусора;
- загрязнение водоёмов;
- шумовое загрязнение;
- затенение территорий и дефицит солнечного света;
- локации, менее стойкие к землетрясениям;
- работы, губительные для здоровья людей;
- риск возникновения пожаров.

Кластерная организация ЭЛГ позволяет максимально применить экологический подход к строительным работам. Функционирование объектов и их обслуживание априори безвредны для экосистемы. Ограничение и регулирование размеров жилых кластеров, новые технологии возведения и эксплуатации обеспечивают самодостаточные и безотходные процессы жизненных циклов, по окончании которых все материалы и конструкции перерабатываются или используются повторно. Здания и сооружения кластера спроектированы модульно, что даёт возможность легко заменять дефектные элементы и тем самым продлевать жизнь системы на неопределённо долгий срок.

Заключение

Структура ЭЛГ, расположенного вдоль стартовой эстакады ОТС, организована с учётом климатических и геологических условий, а также сложившейся структуры расселения. Дислокация новых элементов расселения учитывает условия функционирования ОТС и позволяет структуре ЭЛГ эволюционировать в процессе его развития. Поселения линейного типа агрегированы с транспортными системами «второго уровня» в единую макроструктуру. Дальнейшее совершенствование транспортных коммуникаций на базе ЮСТ обеспечивает технический потенциал для строительства систем нового типа – линейных городов. ЭЛГ станет связующим звеном между ОТС и глобальной системой расселения.

Реализация проекта начинается с разработки ТЭО строительства комплекса ЭЛГ с выделением нескольких этапов, каждый из которых является основанием для дальнейшей детализации концепции.

На первом этапе будут обоснованы размещение, планировка и технические детали основных элементов ЭЛГ. В последующем планируется определить все аспекты строительства комплекса, включая политические и правовые вопросы.

Литература

1. *Гутнов, А.Э. Будущее города. Творческая трибуна архитектора / А.Э. Гутнов, И.Г. Лежава. – М.: Стройиздат, 1977. – 126 с.*
2. *Тетиор, А.Н. Материя и атомы: почему так велика их пустотность? Для обеспечения существования Вселенной / А.Н. Тетиор // Sciences of Europe. – 2019. – Vol. 1, No. 46. – P. 8–20.*
3. *Тетиор, А.Н. Сложности возвращения природы и человека в поле естественной эволюции / А.Н. Тетиор // Sciences of Europe. – 2019. – Vol. 2, No. 44. – P. 16–26.*
4. *О Государственной программе «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 19 февр. 2021 г., № 99 // Национальный правовой интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: https://pravo.by/upload/docs/op/C22100099_1614200400.pdf. – Дата доступа: 11.06.2021.*
5. *Программа «ЭкоМир» [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: http://ecospace.org/images/Program_EcoSpace_RU.pdf. – Дата доступа: 18.06.2021.*
6. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.: ил.*
7. *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. / Астроинженерные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 23–29.*
8. *Устойчивое развитие населённых пунктов и улучшение их коммуникационной инфраструктуры с использованием струнной транспортной системы: итоговый отчёт по проекту Центра ООН по населённым пунктам (Хабитат) FS-RUS-98-S01 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docplayer.com/35738376-Ustoychivoe-razvitie-naselyonnyh-punktov-i-uluchshenie-ih-kommunikacionnoy-infrastruktury-s-ispolzovaniem-strunnoy-transportnoy-sistemy.html. – Дата доступа: 09.04.2021.*
9. *Любов, М.С. Физическая география материков и океанов: учеб. пособие / М.С. Любов. – Арзамас: Арзамас. фил. ННГУ, 2015. – 147 с.*
10. *The GSHAP Global Seismic Hazard Map [Electronic resource] / P. Zhang [et al.] // Annali di Geofizica. – 1999. – Vol. 42, No. 6. – P. 1225–1230. – Mode of access: https://www.annalsofgeophysics.eu/index.php/annals/article/view/3784/3848. – Date of access: 04.06.2021.*
11. *Earth Global Circulation [Electronic resource]. – Mode of access: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Earth_Global_Circulation_-_ru.svg. – Date of access: 04.06.2021.*
12. *Географический атлас учителя: пособие / Л.В. Компанец [и др.]. – Минск: Белкартография, 2017. – 392 с.*
13. *Население Земли – онлайн счётчик населения мира [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rosinfostat.ru/naselenie-zemli/. – Дата доступа: 12.06.2021.*
14. *Google Earth [Electronic resource]. – Mode of access: https://earth.google.com/web/@2.42492364,85.54510585,-7790.43226032a,8033619.03982043d,35y,359.19183477h,0t,0r. – Date of access: 04.06.2021.*
15. *Об утверждении и введении в действие строительных норм СН 3.01.03-2020 [Электронный ресурс]: постановление М-ва архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 27 нояб. 2020 г., № 94 // Национальный правовой интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22136480p&p1=1. – Дата доступа: 11.06.2021.*
16. *Гайдайчук, О.С. Жизненный цикл и управление недвижимостью [Электронный ресурс] / О.С. Гайдайчук // Учёные заметки ТОГУ. – 2013. – Т. 4, № 4. – С. 268–271. – Режим доступа: https://pnu.edu.ru/media/ejournal/articles/2013/TGU_4_74.pdf. – Дата доступа: 12.06.2021.*

УДК 341.1/8

Условия договора между странами – участницами программы uSpace

Казакевич А.П.

ЗАО «Струнные технологии»,
г. Минск, Беларусь

Приведена общая характеристика условий международных договоров; выдвинуты предположения о возможном субъектном составе договора между странами, участвующими в реализации программы uSpace, показаны их роль, права, обязанности и ответственность в процессе осуществления масштабного международного проекта – безракетного освоения космоса с помощью общепланетарного транспортного средства (ОТС) А.Э. Юницкого.

Ключевые слова:
международный договор, международное право, международное сотрудничество, uSpace, общепланетарное транспортное средство (ОТС).

Введение

Общечеловеческий масштаб программы uSpace, представляющей безракетное освоение космоса с помощью общепланетарного транспортного средства (ОТС) в качестве единственно возможного способа сохранения биосферы путём выноса индустрии за пределы планеты Земля [1], предполагает взаимодействие большого количества самостоятельных субъектов. Для достижения положительного результата важно, чтобы права, обязанности и ответственность участников были чётко определены и юридически закреплены. Наиболее подходящим способом в данном случае видится заключение международных договоров.

Анализ, выполненный автором ранее [2], приводит к выводу: на сегодняшний день не существует международных документов, которые позволили бы участникам эффективно взаимодействовать в рамках реализации программы uSpace. Это обусловлено тем, что подобные документы регулируют или слишком общие вопросы, связанные с деятельностью в космосе в целом (например, Договор о принципах деятельности государств по исследованию и использованию космического пространства, включая Луну и другие небесные тела), или, наоборот, затрагивают только проблемы конкретной прикладной области либо проекта (например, Принципы использования государствами искусственных спутников Земли для международного непосредственного телевизионного вещания).

Заключение нового международного договора, регламентирующего процесс реализации программы uSpace, будет способствовать эффективному взаимодействию стран-участниц путём разграничения их ролей, определения и юридического закрепления прав, обязанностей и ответственности.

Наиболее близким по сути к международному договору, касающемуся вопросов реализации программы uSpace, является Соглашение между Правительством Канады, Правительствами государств – членов Европейского космического агентства, Правительством Японии, Правительством Российской Федерации и Правительством Соединённых Штатов Америки относительно сотрудничества по Международной космической станции гражданского назначения (далее – Соглашение по МКС), заключённое в 1998 г., а также документы, разработанные в рамках действия данного соглашения. На сегодняшний момент Международная космическая станция (МКС) – уникальный в техническом и правовом смысле объект. Вместе с тем это беспрецедентный международный проект по стоимости создания, количеству заинтересованных сторон и масштабам космической деятельности. МКС состоит из элементов, сконструированных и запущенных участниками, но считается единым объектом. Управление станцией осуществляется соответствующими центрами стран-участниц [3].

Для прорабатываемого договора о реализации программы uSpace наличие подобного документа полезно приобретённым опытом взаимодействия, а также тем, что успешное функционирование МКС доказывает состоятельность такой формы сотрудничества, как международный договор, для проектирования, строительства и эксплуатации единого международного объекта, состоящего из элементов, принадлежащих различным субъектам. Однако следует учитывать специфику ОТС – сверхмасштабного (превышающего размеры планеты), сверхсложного (включающего десятки космических, геокосмических и наземных систем) и сверхдорогого (около 2,5 трлн USD) комплекса, проходящего по территории 11 стран и морской зоне ещё нескольких государств.

В статье определено понятие международного договора, выделены его существенные для программы uSpace признаки, дана общая характеристика рассматриваемой формы взаимодействия нескольких самостоятельных субъектов международного права, выдвинуты предположения о возможном субъектном составе, а также о форме, структуре и содержании международного соглашения, необходимого для реализации программы uSpace. Кроме того, важно отметить, что в настоящей работе проанализирован универсальный международный договор без учёта специфики конкретной сферы сотрудничества. Подобный подход обусловлен следующим: областей, в которых может происходить взаимодействие участников, достаточно много, и каждая имеет свои особенности. В связи с этим автор сфокусировал внимание на общих нормах, независимо от конкретного предмета.

Понятие международного договора

Прежде чем углубиться в изучение такого явления, как международный договор, необходимо выяснить, что понимается под данным словосочетанием. Существует множество определений этого понятия, автор рассмотрел некоторые из них.

1. Венская конвенция о праве международных договоров, принятая в 1969 г., понимает под международным договором соглашение, заключённое между государствами в письменной форме и регулируемое международным правом, независимо от того, содержится ли такое соглашение в одном, двух или нескольких связанных между собой документах, а также независимо от его конкретного наименования [4].

2. По мнению многих исследователей, международный договор представляет собой явно выраженный правовой акт, заключаемый между двумя и более субъектами права, который определяет взаимоотношения между участниками при помощи указания их прав и обязанностей в различных сферах [5].

3. Белорусское законодательство исходит из того, что международным договором Республики Беларусь является международный договор (межгосударственный, межправительственный или международный договор межведомственного характера), заключённый в письменной форме Республикой Беларусь с иностранным государством (иностранными государствами), международной организацией (международными организациями), иным субъектом (иными субъектами), обладающим (обладающими) правом заключать международные договоры, который регулируется международным правом независимо от того, содержится он в одном или нескольких связанных между собой документах, а также независимо от его конкретного наименования и способа заключения (договор, соглашение, конвенция, решение, пакт, протокол, обмен нотами или письмами и другие наименования и способы заключения международного договора) [6].

Соответственно, каждое из определений делает акцент на важных для конкретных целей признаках такого явления, как международный договор, поэтому будет полезно обозначить существенные для договора о реализации программы uSpace характеристики. Среди них автор выделяет нижеуказанные аспекты:

- является документом (одним или несколькими взаимосвязанными);
- заключён между субъектами международного права (государствами, международными организациями и др.);
- выражен в письменной форме;
- регламентирует взаимоотношения между участниками.

Для целей настоящей статьи наиболее подходящим видится следующее определение: международный договор о реализации программы uSpace – соглашение, заключённое между государствами и/или иными субъектами международного права в письменной форме, регулирующее их взаимоотношения в процессе реализации программы uSpace.

Субъектный состав международного договора о реализации программы uSpace

По мнению автора, на начальном этапе реализации программы uSpace целесообразнее избрать такую форму сотрудничества, как международный договор, заключив его по меньшей мере между странами, на чьих территориях пройдёт взлётно-посадочная эстакада ОТС. С учётом экваториального расположения это будут государства, список которых приведён в таблице 1. Дополнительно в указанной таблице содержатся сведения о показателях, характеризующих уровень экономического и политического развития предполагаемых участников договора.

Кроме того, при строительстве ОТС необходимо принимать во внимание тот факт, что его взлётно-посадочная эстакада будет проходить по исключительной экономической зоне США (200-мильная зона вокруг о. Бейкер в Тихом океане) [9].

Учитывая нестабильность или неразвитость политических систем, а также низкий уровень экономического и технического развития некоторых перечисленных стран (таблица 1), следует отметить, что для достижения положительного результата потребуется расширение круга участников и включение в него высокоразвитых государств и/или международных организаций, способных обеспечить финансирование проекта общепланетарного масштаба и выступить гарантом исполнения заключённого договора (например, участник или участники Соглашения по МКС). В то же время необходимо сказать, что вышеописанные негативные моменты могут принести пользу программе uSpace: они позволят заинтересовать субъектов преимуществом в виде стремительного скачка в их экономическом и техническом развитии, который произойдёт благодаря строительству ОТС.

Таблица 1 – Вероятные страны – участницы договора о реализации программы uSpace и отдельные характеристики их развития

Наименование	Официальный язык	Валовой внутренний продукт (по паритету покупательной способности) на душу населения [7], USD	Индекс слабости государств* [8]
Соединённые Штаты Америки	Английский	63 415,985	38,3
Демократическая Республика Сан-Томе и Принсипи	Португальский	3829,284	70,3
Габонская Республика	Французский	15 970,052	69,1
Республика Конго	Французский	4187,539	92,1
Демократическая Республика Конго	Французский	1106,371	109,4
Республика Уганда	Английский	2573,998	92,8
Республика Кения	Английский	4925,519	90,3
Федеративная Республика Сомали	Арабский	924,532	110,9
Мальдивская Республика	Мальдивский	19 608,983	66,2
Республика Индонезия	Индонезийский	12 221,919	67,8
Республика Кирибати	Английский	2199,787	–
Республика Эквадор	Испанский	11 008,713	69,4
Республика Колумбия	Испанский	14 323,895	76,6
Федеративная Республика Бразилия	Португальский	14 916,285	73

* Индекс слабости государств мира (Fragile States Index) – комплексный показатель, характеризующий способность (и неспособность) властей того или иного государства контролировать целостность своей территории, политическую, экономическую, социальную и демографическую ситуацию в стране, а также устойчивость её государственных институтов [8]. Чем больше значение показателя, тем хуже способность страны контролировать свои внутренние дела. Для сравнения: индекс слабости Финляндии – 14,6 (минимальный показатель), Германии – 23,2, Беларуси – 65,8, России – 72,6, Йемена – 112,4 (максимальный показатель).

Форма и структура международного договора

Все приведённые в настоящей статье определения исходят из того, что международный договор – документ, составленный в письменной форме. Однако в теории международный договор может заключаться и в устной форме, но на практике это крайне редкое явление. В любом случае реализация проекта цивилизационного масштаба невозможна на основании устных договорённостей, поэтому остановимся на том, что обязательным условием существования международного договора о реализации программы uSpace будет являться его воплощение в письменной форме.

Ни в международных, ни в национальных правовых нормах не имеется чётких правил, регламентирующих структуру международного договора (т. е. его составные части); с учётом наработанной практики чаще всего выделяются следующие элементы:

- преамбула;
- основная часть;
- заключительные положения;
- приложения (при наличии) [10].

Преамбула, несмотря на то что не содержит каких-либо правил или норм, – значимая часть документа, поскольку в ней указываются участники соглашения, цели, для достижения которых заключается международный договор, а также прописываются базовые принципы международного права, на которые опирается создаваемый акт.

В преамбуле международного договора о реализации программы uSpace помимо перечисленного выше следует сконцентрировать внимание на том, какие глобальные вызовы и проблемы стоят перед человечеством и как они будут решены в рамках рассматриваемого проекта.

Поскольку строительство ОТС – это технически сложный и инновационный проект [1], автор видит важным дополнение текста международного договора о реализации программы uSpace структурным блоком, содержащим термины и их объяснения. Наличие такого раздела приведёт к единообразному толкованию текста, отсутствию потребности искать определение того или иного понятия в других документах и доказывать его значение, исключит разночтения и возможные терминологические конфликты участников, что в конечном счёте приведёт к упрощению взаимодействия.

В основной части договора указываются его предмет (на что направлен документ), права и обязанности участников, описываются действия сторон, необходимые для достижения поставленных целей, инструменты и условия для исполнения обязательств, а также ответственность за их неисполнение и допустимые меры правового принуждения.

Учитывая инновационность и масштабность программы uSpace, следует оговориться, что на начальном этапе её реализации невозможно чётко регламентировать действия сторон, предпринимаемые для достижения поставленных целей, а также установить инструменты и условия для исполнения обязательств.

По данной причине предлагается включить в основную часть отсылочные нормы, указывающие на то, что детализированные положения будут описаны в приложениях к договору. При этом важно предусмотреть порядок придания таким приложениям юридической силы: инициирование подписания приложения, срок его рассмотрения участниками, порядок голосования, кворум, достаточное количество голосов и повторная процедура при необходимости.

Особого внимания в тексте международного договора о реализации программы uSpace заслуживает раздел о разрешении споров, поскольку большое количество разных субъектов и сложность взаимоотношений, очевидно, будут порождать значительное количество взаимных претензий участников. Видится должным чётко регламентировать механизмы разрешения конфликтных ситуаций, порядок действий, применимые процедуры и компетентные органы, что позволит упростить разрешение разногласий.

Заключительные положения международного договора состоят из норм, которые определяют процедуры, требующиеся для его вступления в силу, в том числе необходимость ратификации, правила внесения в текст изменений и дополнений, срок действия, порядок досрочного прекращения, условия и действия для продления, возможность присоединения к договору иных субъектов, язык, место подписания, список приложений.

Помимо указанных правил в рассматриваемый структурный блок международного договора о реализации программы uSpace целесообразно ввести параграф, устанавливающий порядок и способы оперативной коммуникации, которые включают электронные каналы связи (для упрощения взаимодействия между участниками).

Язык международного договора

Наибольшую сложность в создании заключительной части вызывает вопрос выбора языка, на котором будет написан текст договора.

На одном языке международный договор чаще всего составляется при условии, что это официальный (один из официальных) язык всех участников. Два языка, как правило, используют в двусторонних договорах. В многостороннем соглашении, когда участвует большое количество субъектов, использовать все официальные языки сторон нецелесообразно. В таком случае участники выбирают для текста договора несколько наиболее распространённых языков [10]. При этом статья 33 Венской конвенции о праве международных договоров утверждает: если аутентичность текста договора была установлена на двух или нескольких языках, его текст на каждом языке имеет одинаковую силу, если договором не предусматривается или участники не условились, что в случае расхождения между этими текстами преимущественную силу будет иметь какой-либо один определённый текст [4].

Названные выше 14 вероятных участников договора о реализации программы uSpace общаются по меньшей мере на семи языках (таблица 1).

Согласно информации, размещённой на официальном сайте ООН, в настоящее время шесть языков (английский, арабский, испанский, китайский, русский и французский) имеют статус официальных в данной организации [11].

Автор считает, что для договора о реализации программы uSpace в качестве аутентичных следует выбрать английский, французский и испанский языки, поскольку они наиболее распространены среди участников и в то же время являются официальными языками ООН, а также португальский, как официальный язык самого крупного субъекта (Бразилия).

Все вышеуказанные положения и особенности разрабатываемого договора о реализации программы uSpace схематично приведены в таблице 2.

Выводы и дальнейшие направления исследования

Представленное в настоящей статье исследование общих положений о международном договоре как форме взаимодействия нескольких самостоятельных субъектов международного права позволяет выдвинуть следующие предположения о возможном составе участников, форме, структуре и содержании международного соглашения, необходимого для реализации программы uSpace:

- международный договор о реализации программы uSpace – соглашение, заключённое между государствами и/или иными субъектами международного права в письменной форме, регулирующее их взаимоотношения в процессе реализации данной программы;
- наиболее вероятные участники договора (по крайней мере, на начальном этапе): Соединённые Штаты Америки, Демократическая Республика Сан-Томе и Принсипи, Габонская Республика, Республика Конго, Демократическая Республика Конго, Республика Уганда, Республика Кения, Федеративная Республика Сомали, Мальдивская Республика, Республика Индонезия, Республика Кирибати, Республика Эквадор, Республика Колумбия, Федеративная Республика Бразилия;
- автором предложена общепринятая структура международного договора, включающая такие разделы, как преамбула, термины и определения, основная часть, разрешение споров, заключительные положения, приложения, и одновременно учитывающая ряд важных особенностей и дополнительных блоков.

Исходя из логики создания документа, будущее исследование планируется посвятить вопросам, затрагивающим процесс заключения международного договора о реализации программы uSpace, его вступление в силу и иные формальные процедуры, необходимые для придания соглашению юридической силы, т. е. обязательного характера.

Таблица 2 – Структура и особенности международного договора о реализации программы uSpace

Разделы (элементы) договора	Содержание (особенности)
Преамбула	Участники соглашения; цели, для достижения которых заключается международный договор; базовые принципы международного права, на которые опирается создаваемый акт. Дополнительно: глобальные вызовы и проблемы, стоящие перед человечеством, и их решение в рамках программы uSpace
Термины и определения	Единообразное толкование понятий и терминов, встречающихся в тексте создаваемого договора
Основная часть	Предмет договора; права и обязанности участников; действия сторон, необходимые для достижения поставленных целей; инструменты и условия для исполнения обязательств; ответственность за их неисполнение; допустимые меры правового принуждения. Дополнительно: отсылочные нормы, указывающие на то, что детализированные положения будут даны в приложениях к договору; порядок придания таким приложениям юридической силы: инициирование подписания приложения, срок его рассмотрения участниками, порядок голосования, кворум, достаточное количество голосов и повторная процедура при необходимости
Разрешение споров	Строгая регламентация механизмов разрешения конфликтных ситуаций; порядок действий; применимые процедуры и компетентные органы для упрощения разрешения разногласий между участниками
Заключительные положения	Процедуры, требующиеся для вступления договора в силу; необходимость ратификации; правила внесения в текст изменений и дополнений; срок действия; порядок досрочного прекращения; условия и действия для продления; возможность присоединения к договору иных субъектов; язык; место подписания; список приложений. Дополнительно: порядок и способы оперативной коммуникации, включающие электронные каналы связи (для упрощения взаимодействия между участниками)
Язык договора	Аутентичный текст договора изложить на четырёх языках: английском, французском, испанском и португальском
Приложения	Положения, детализирующие основную часть договора в процессе реализации программы uSpace

Литература

1. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.: ил.*
2. *Казакевич, А.П. Правовые аспекты международного сотрудничества в области освоения космоса / А.П. Казакевич // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 12 сент. 2020 г. / Астроинженерные технологии, Струнные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – С. 102–115.*
3. *Киченина, В.С. Правовое положение Международной космической станции / В.С. Киченина // Международное публичное и частное право. – 2018. – № 4. – С. 17–19.*
4. *Венская конвенция о праве международных договоров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/law_treaties.shtml. – Дата доступа: 15.02.2021.*
5. *Васильева, Л.А. Международное публичное право / Л.А. Васильева, О.А. Бакиновская. – Минск: ТетраСистемс, 2010. – 576 с.*
6. *О международных договорах Республики Беларусь [Электронный ресурс]: Закон Респ. Беларусь, 23 июля 2008 г., № 421-З. – Режим доступа: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=h10800421. – Дата доступа: 15.02.2021.*
7. *World Economic Outlook Database [Electronic resource]. – Mode of access: https://clck.ru/UEAkC. – Date of access: 03.05.2021.*
8. *Рейтинг стран мира по уровню слабости [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://gtmarket.ru/ratings/fragile-states-index. – Дата доступа: 03.05.2021.*
9. *Энциклопедия стран мира / Н.А. Симония [и др.]; под ред. Н.А. Симония. – М.: Экономика, 2004. – 1319 с.*
10. *Международное право / Б.М. Ашавский [и др.]; под ред. А.А. Ковалёва, С.В. Черниченко. – М.: Омега-Л, 2008. – 831 с.*
11. *Официальные языки ООН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.un.org/ru/our-work/official-languages. – Дата доступа: 27.02.2021.*

УДК 330.34

Сценарное обоснование инвестиционного проекта «Безракетная индустриализация ближнего космоса»

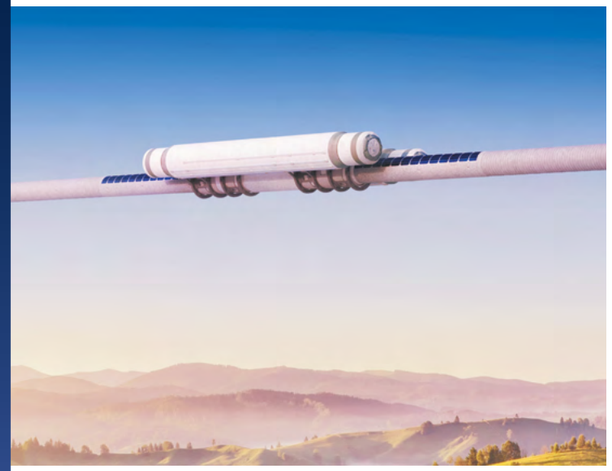
Юницкий А.Э.[1,2]
Бабаян А.В.[1]

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

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

В основу программы «ЭкоМир» положены космический вектор индустриализации и технология безракетного геокосмического транспорта. Спасение биосферы Земли от антропогенного воздействия экологически вредных и ресурсоёмких отраслей техносферы осуществляется за счёт их выноса за пределы планеты – в ближний космос на околоземные круговые экваториальные орбиты. Человек при этом остаётся жить на Земле, а значит, все жизненно важные отрасли на планете – производство продуктов питания, генерация и передача энергии, строительство жилья и инфраструктуры, транспорт и коммуникации – должны обеспечиваться экоориентированными технологиями, дружественными биосфере.
Программа «ЭкоМир» является инвестиционным проектом, в рамках которого авторы в своих статьях последовательно показывают различные аспекты технико-экономического обоснования как самой программы, так и составляющих её проектов. В настоящей работе рассмотрен возможный сценарный план подготовки и практической реализации проекта «Безракетная индустриализация ближнего космоса». Дана оценка его реализуемости и программы «ЭкоМир» в целом.

Ключевые слова:
астероидные минеральные ресурсы, геокосмический транспорт, безракетная индустриализация ближнего космоса, биосфера, техносфера, космический вектор индустриального развития, космоиндустриальные технологии, космическая солнечная энергетика, общепланетарное транспортное средство (ОТС), технократический путь, цивилизационное развитие, экоориентированные технологии.



Введение

Программа «ЭкоМир», в основу которой положены космический вектор индустриализации и технология безракетного геокосмического транспорта, носит характер глобального инвестиционного проекта «Безракетная индустриализация ближнего космоса» (далее – Проект) [1]. Она призвана обеспечить спасение биосферы Земли путём выноса всех экологически вредных и ресурсоёмких отраслей техносферы в космос на ближайшие околоземные орбиты, размещённые в плоскости экватора, т. е. за пределы биосферного дома Земля.

Выбор круговых орбит в плоскости экватора для космической индустрии обусловлен стремлением минимизировать инвестиционные затраты на её создание. Такое решение позволит также оптимизировать эксплуатационные издержки в весьма затратной геокосмической логистике по маршруту Земля – Орбита – Земля для миллиардов людей, которые и в будущем продолжат жить на родной планете.

При этом все жизненно необходимые человеку на Земле отраслевые направления (органическое земледелие и производство продуктов питания, генерация и передача различных форм энергии, строительство жилья и иных сооружений, транспорт и коммуникации, др.) должны быть обеспечены новыми экоориентированными технологиями.

Практическая реализация программы «ЭкоМир» будет означать глобальное индустриальное перевооружение и неизбежный переход к космоиндустриальному этапу развития нашей земной технократической цивилизации. Существенно изменятся основы геополитического и социально-экономического устройства, так как все базисные отрасли национальных экономик (энергетика, транспорт, минерально-сырьевая база, переработка сырья и выпуск конструкционных материалов, др.) в итоге трансформируются в базисные отрасли уже мировой космоиндустриальной экономики, общей для всех стран. Регулирование геокосмической экономики запланировано из единого корпоративного центра (с представительством всех стран – участниц данного глобального Проекта).

Управляющему корпоративному центру должна подчиняться и вся система общецивилизационной обороны, призванная не только защищать планету от внешних космических угроз (в том числе астероидных), но и выполнять миротворческую функцию на самой Земле, пресекая любые военно-политические конфликты.

Проекта, более сложного организационно и технологически, более долгого по срокам подготовки, реализации и достижению конечного результата, более глобального по масштабам охвата и объёму инвестиционных затрат, а главное, более важного для судеб всего человечества, а также не терпящего отлагательств, мир не знал и, наверное, не узнает. Вместе с тем отметим следующий факт: предлагаемую идею отличает крайне высокая инвестиционная привлекательность.

Для того чтобы программа «ЭкоМир», как и любой инвестиционный проект, реализовалась, необходимо технико-экономическое обоснование, причём для одного единственного инвестора – человеческой цивилизации, представленной различными, порой даже диаметрально противоположными интересами, что создаёт основное препятствие широкомасштабному запуску программы «ЭкоМир», о которой инженер А.Э. Юницкий заявил около 40 лет назад.

Авторы данной статьи последовательно раскрывают различные аспекты технико-экономического обоснования программы «ЭкоМир» и составляющих её проектов, из которых самым значимым, сложным, ответственным и в то же время самым масштабным является проект «Безракетная индустриализация ближнего космоса» [2]. Рассмотрен один из возможных сценарных планов подготовки и практической реализации Проекта, включающего создание и запуск общепланетарного транспортного средства (ОТС), а также строительство взлётно-посадочной эстакады и всей инфраструктуры на Земле в полосе экватора и в космосе на околоземных орбитах, необходимой для обеспечения геокосмических грузо-пассажирских перевозок. Кроме того, в рамках предложенного сценарного плана авторы оценивают достаточность технологических, экономических и временны́х ресурсов человечества.

Базовый сценарный план проекта «Безракетная индустриализация ближнего космоса»

Базовый сценарный план Проекта, рассчитанный на предстоящие 40 лет, разделён первым стартом ОТС на два долгосрочных этапа продолжительностью по 20 лет каждый. Инженером А.Э. Юницким [3] ранее была предложена разбивка на этапы:

- первый этап (до старта) – «Подготовка к геокосмическим полётам»;
- второй этап (после старта) – «Практическая индустриализация ближнего космоса».

Этап подготовки к геокосмическим полётам представлен в виде прогнозного графика капитальных затрат на НИОКР, расходов на возведение стартовой экваториальной эстакады и сопутствующей ей инженерной инфраструктуры, а также на создание и сооружение собственно ОТС (таблица 1).

Второй этап, затрагивающий практическую индустриализацию ближнего космоса, представлен в виде прогнозного объёма геокосмического грузо-пассажирского потока, а также оценки основных статей операционных затрат и доходов электрической генерации при всё более доминирующем обратном потоке космических грузов на Землю по мере наращивания мощностей космической индустрии (таблица 2).

Таблица 1 – График затрат на НИОКР, создание и строительство ОТС

Год	Затраты по годам, млрд USD			Итого, млрд USD
	НИОКР по экваториальной эстакаде «5 в 1», инфраструктуре, ОТС, др.	Создание стартовой экваториальной эстакады ОТС «5 в 1» и наземной жилой и промышленной инфраструктуры (здания, сооружения, электростанции, ЛЭП, линии связи, др.)	Создание (сооружение) ОТС	
1	0,1	–	–	0,1
2	0,2	–	–	0,2
3	0,3	–	–	0,3
4	0,4	–	–	0,4
5	1	–	–	1
6	2	1	–	3
7	3	2	–	5
8	4	3	–	7
9	5	4	2	11
10	6	10	3	19
11	7	50	5	62
12	8	80	15	103
13	9	150	50	209
14	10	150	75	235
15	10	150	100	260
16	10	150	100	260
17	10	150	100	260
18	10	150	100	260
19	10	150	100	260
20	10	150	100	260
Итого	116	1350	750	2216

Таблица 2 – Грузо-пассажирский поток с оценкой затрат и доходов

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	Зарплата	Амортизация	Прочее	
1	100	10	525	90,9	20,7	63,4	700
2	200	50	450	40	20,7	39,3	550
3	300	100	300	25	20,7	24,3	370
4	400	150	200	18,2	20,7	21,1	260
5	500	200	150	14,3	20,7	15	200
6	500	250	100	13,3	20,7	11	145
7	400	300	50	14,3	20,7	10	95
8	300	350	–	15,4	20,7	8,9	45
9	200	400	–100	16,7	20,7	7,6	–55
10	100	500	–200	16,7	20,7	7,6	–155
11	100	500	–200	16,7	20,7	7,6	–155
12	100	500	–200	16,7	20,7	7,6	–155
13	100	500	–200	16,7	20,7	7,6	–155
14	100	500	–200	16,7	20,7	7,6	–155
15	100	500	–200	16,7	20,7	7,6	–155
16	100	500	–200	16,7	20,7	7,6	–155
17	100	500	–200	16,7	20,7	7,6	–155
18	100	500	–200	16,7	20,7	7,6	–155
19	100	500	–200	16,7	20,7	7,6	–155
20	100	500	–200	16,7	20,7	7,6	–155
Итого	4000	7310					

Учитывая реалии, связанные с неопределённо долгим убеждением мировой общественности и её элит, авторы дополнили указанные выше два этапа («Подготовка к геокосмическим полётам» и «Практическая индустриализация ближнего космоса») ещё одним предварительным и переживаемым в настоящее время этапом – «Формирование условий для начала широкомасштабной реализации проекта «Безракетная индустриализация ближнего космоса» и программы «ЭкоМир».

У Проекта и программы «ЭкоМир» есть всего один потенциальный инвестор. Это цивилизация, которую также необходимо сформировать и консолидировать вокруг осознания того, что вектор индустриализации космоса и безракетная геокосмическая транспортная система не имеют альтернатив не только в плане спасения мира от экоресурсной катастрофы, но и в целях сохранения технократического пути цивилизационного развития, подразумевающего использование безграничных ресурсов и уникальной среды космоса.

Человеческая цивилизация сегодня представлена множеством национальных интересов (порой даже враждебных друг к другу), различным уровнем экономического развития, большим количеством научных школ, целым рядом бизнес-подходов, разнообразием культур и традиций. Следовательно, задачей вновь выделенного этапа, в настоящее время реализуемого под руководством инженера А.Э. Юницкого, является обоснование и убеждение (а значит, консолидация) мировой общественности и её научных, бизнес- и политических элит в том, что пришла пора корректировки цивилизационного развития в сторону космического вектора, причём геокосмический транспорт может быть только общепланетарным и безракетным.

Как только такая убеждённость охватит определённую критическую массу мирового сознания, автоматически начнётся процесс организационно-правовой консолидации. Скорее всего, это произойдёт под эгидой ООН в форме создания международного Консорциума при обязательном участии стран экваториального пояса, а также как можно большего числа стран с высоким экономическим и научно-техническим потенциалом [4].

Несмотря на то что разработчик Проекта и программы «ЭкоМир» инженер А.Э. Юницкий на решение задачи убеждения и консолидации мирового сознания уже затратил более 40 лет своей жизни, тем не менее авторы настоящей статьи полны оптимизма и считают, что в течение ближайших 3–5 лет Проект и программа «ЭкоМир» будут широко признаны в мире, а цивилизация объединится вокруг вектора безракетной индустриализации космоса.

Данная убеждённость связана с повышением научной, медийной и инвестиционной активности не только благодаря усилиям единственного инвестора, создателя Проекта и программы «ЭкоМир» инженера А.Э. Юницкого, но и по причине объективного роста общего беспокойства по поводу неуклонно ухудшающейся экологической и ресурсной ситуации на Земле. Действительно, зреет острый социальный запрос на решение указанной проблемы, который выражается в постоянном расширении рынка инновационных космических технологий и числа его резидентов.

Этап «Подготовка к геокосмическим полётам»

Основная задача подготовительного этапа сценарного плана, рассчитанного на предстоящие 20 лет, – это создание ОТС, экваториальной взлётно-посадочной эстакады и всей энергетической и транспортно-логистической инфраструктуры.

Однако в рамках подготовительного этапа и задолго до сооружения ОТС и экваториальной эстакады должен быть основан экваториальный линейный город (ЭЛГ), на предприятиях которого следует изготовить ОТС. На территории ЭЛГ (т. е. вдоль экватора) необходимо открыть транспортно-логистические узлы, соединённые разноскоростными рельсо-струнными магистралями, возведёнными по технологии Струнного транспорта Юницкого (ЮСТ; англ. – uST). Очевидно, что такая масштабная строительная площадка на экваториальной полосе потребует перенастройки мировой транспортно-логистической системы, чтобы она могла начать обслуживать меридиональные грузо-пассажирские потоки по всему периметру экватора, доставляя материалы и оборудование в ЭЛГ. После завершения его строительства необходимость в обслуживании меридиональных грузо-пассажирских потоков не отпадёт, но изменится их направление, так как с территории ЭЛГ по всей Земле станут развозить сырьё, материалы и продукцию, поступающие из космоса.

В ЭЛГ планируется организовать совершенно иной урбанистический уклад: сформируются новые стандарты жилья, социально-бытовых объектов инфраструктуры, экокомфортной биосферы, системы продовольственного снабжения; в составе ЭЛГ появится собственный агропромышленный сектор. Городская черта ЭЛГ (а это вся экваториальная полоса, включая океанические участки, занимающие около 80 % городской территории) должна получить генплан и секторальное административно-территориальное деление с выбором мест размещения крупных, средних и мелких административных центров. Подобный подход будет во многом определять будущее общемировой транспортно-логистической системы. Кроме того, для ЭЛГ должны быть разработаны и утверждены градостроительный кодекс, строительные нормы и правила, множество других документов, регламентирующих строительство. Всё это непростые задачи, требующие проведения масштабных НИОКР.

Принимая во внимание колоссальную протяжённость экваториальных линейных объектов, составляющую свыше 40 000 км, их возведение следует осуществлять одновременно на многих участках вдоль всего экватора. В частности, учитывая срок любого линейного строительства (три года) и средний проходческий темп (150–200 м/сут), вдоль экватора понадобится организовать порядка 200 строительно-проходческих площадок.

Вместе с тем к моменту завершения подготовительного периода и ко времени первого запуска ОТС на складах ЭЛГ должны ожидать транспортировку в космос конструкции и оборудование орбитального линейного города. Среди них – элементы для строительства его предварительно напряжённой основы, а также всё необходимое для развёртывания первых космических солнечных электрических и водородных станций, запуска космических ракет-буксиров со специальным горнорудным оборудованием (понадобится в первых разведывательных экспедициях на астероиды), монтажа на орбите первых жилых и производственных кластеров и др.

К первому запуску ОТС нужно сформировать достаточный парк грузовых и пассажирских модулей. Грузовые модули будут использоваться не только для доставки, но и для непродолжительного хранения грузов в космосе (пока идёт строительство индустриальных кластеров).

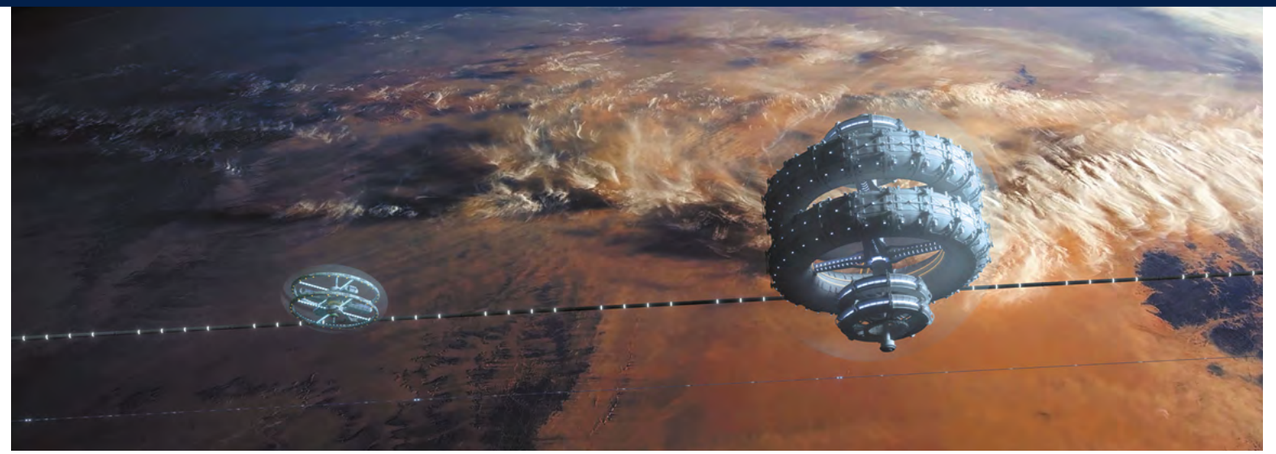
Пассажирские модули потребуются как для транспортировки пассажиров на орбиту, так и для организации временного проживания и мест работы космического персонала.

Подготовительный этап должен начаться с полномасштабного развёртывания всесторонних НИОКР, затрагивающих широкий круг вопросов. Разработка и проектирование будут проводиться не только в течение всего подготовительного периода, но и после него, и вряд ли когда-нибудь прекратятся, потому что проблемы, которые придётся решать в рамках индустриализации космоса, столь же безграничны, как и сам космос.

Следует особо отметить, что технологическое перевооружение затронет не только аспекты, касающиеся создания ОТС, экваториальной стартовой эстакады и необходимой инфраструктуры. Человек является частью спасаемой биосферы Земли и останется жить на родившей его планете. Значит, он не сможет обойтись без экоориентированных технологий производства продуктов питания, получения энергии, строительства транспорта, жилья и производственно-жилой инфраструктуры. В данном направлении инженер А.Э. Юницкий работает давно. На сегодняшний день он добился прорывных результатов и уже внедряет в жизнь всю линейку экоориентированных технологий: uGreen, uEnergy, EcoHouse и ЮСТ (разрабатываются в организованной им группе международных компаний).

В рамках создания ОТС в состав НИОКР будет обязательно включён следующий перечень основных вопросов: конструкция и компоновочная схема; тысячекилометровые линейный электродвигатель и магнитный подвес; линейные (ленточные) маховики-роторы и вакуумные каналы для них; энергообеспечение, рекуперация и отвод тепловой энергии; управление и безопасность; функциональные системы грузовых модулей и системы жизнеобеспечения пассажирских модулей как автономных космических спутников; космические перевозки крупногабаритных грузов на корпусе ОТС.

Кроме этого, должен быть решён обширный спектр задач: оптимизация используемых конструкционных материалов и рабочих сред; создание и испытания малых и больших физических моделей; математическое моделирование режимов функционирования, в том числе режимов старта и посадки, особенно в районе гор; стабилизация сверхдлинной конструкции при неравномерности загрузки; расчёты режимов для многочисленных возможных внештатных ситуаций; эксплуатация и регламентное обслуживание, включая межполётное; антитеррористическая и противометеоритная защита всех конструкций и их антивандальное исполнение; организация производства компонентов



ОТС и модулей, их доставка к месту сборки вдоль всего экватора, монтаж и наладка, контроль качества; поиск источников энергии; разгон ленточных маховиков с выходом на нужные гиперскоростные режимы и др.

При строительстве экваториальной взлётно-посадочной эстакады и сопутствующей ей инфраструктуры в составе НИОКР обязательна разработка следующих основных вопросов: вертикальное и курсовое профилирование стартовой эстакады, особенно в высокогорных районах, а также на океанических участках, характеризующихся большими глубинами, сильными течениями и неустойчивой навигацией; электрическая генерация, снабжение и накопление грузов и пассажиров вдоль всей экваториальной эстакады, имеющей протяжённость более 40 000 км; прокладка параллельно эстакаде ОТС экваториальных трансконтинентальных рельсо-струнных трасс для скоростных, высокоскоростных и гиперскоростных грузо-пассажирских перевозок; градостроительное планирование и строительство транспортно-логистических, энергетических и индустриальных узловых компонентов ЭЛГ, в том числе секторов жилой, социально-бытовой направленности, содержащих сельскохозяйственные угодья и пищевые производства. Отдельного внимания потребуют плавучие узловые составляющие линейного города, который размещён на океанических участках, занимающих около 80 % протяжённости экватора.

Подготовительный этап должен начаться с выработки всевозможных стандартов, нормативов и правил, что позволит вновь создаваемым компонентам геокосмического транспортно-инфраструктурного комплекса находиться в гармонии друг с другом. Завершится подготовительный этап первым запуском ОТС, вместе с которым начнётся следующий этап – непосредственно практическая индустриализация ближнего космоса.

Этап «Практическая индустриализация ближнего космоса»

В рамках рассматриваемого этапа, рассчитанного на последующие 20 лет (после первого старта ОТС), авторами выделено пять основных фаз, по итогам реализации каждой из которых вновь формируемая космическая индустрия переходит на новый качественный и количественный уровень.

Первая фаза этапа практической индустриализации ближнего космоса (продолжительность – два года) будет проходить под флагом «Создание космической энергетики и первое космическое строительство».

Планируемые работы в период данной фазы:

- подъём первого оборудования и формирование космического строительно-монтажного комплекса, включающего роботы-манипуляторы, ракеты с функцией буксирования и аккумуляторных станций, обитаемые модули для размещения пунктов управления строительно-монтажной техникой и в целом космическим строительством, грузовые модули для хранения строительных материалов, расходных и ремонтных частей, а также иных необходимых в период строительства запасов;
- развёртывание первых единиц орбитальной группировки космических солнечных электростанций (КСЭС), включающих интегрированные станции по производству, сжижению и хранению водородно-кислородного топлива, предназначенного для космических ракет-буксиров, которые используются при транспортировке роботов-манипуляторов на космических стройках и перемещении грузов вне орбит Земли и на дальние расстояния в глубокий космос;
- подъём и монтаж первой очереди линейных компонентов космического индустриального ожерелья «Орбита» (КИО «Орбита»), включая орбитальный опорный каркас, путевые структуры скоростного рельсового и высокоскоростного левитационного транспорта, электросиловые и оптико-волоконные кабельные линии;
- снаряжение и отправка первых дальних космических горнорудных разведывательных экспедиций на Луну и ближайшие астероиды в поисках минерального сырья;
- оказание первых космических услуг, прежде всего вывод новых и обслуживание действующих спутников Земли, а также сбор космического мусора, восстановление озонового слоя и др.;
- проведение первых геокосмических экскурсий.

Основная задача первой фазы – обеспечение космической энергией нового космического строительства и, собственно, организация именно космического строительства, отладка строительных технологий и наращивание темпов их реализации.

Вторая фаза этапа практической индустриализации ближнего космоса (продолжительность – три года) будет проходить под флагом «Создание основы индустриализации ближнего космоса – КИО «Орбита».

Планируемые работы в период данной фазы:

- завершение монтажа всех линейных компонентов опорного каркаса КИО «Орбита», их силовое замыкание в единую конструкцию и доразгон до орбитальной скорости, гарантирующей необходимый уровень внутренних напряжений, которые обеспечивают каркасу требуемую опорную несущую способность;
- монтаж и ввод в эксплуатацию стационарного орбитального транспортного сообщения (предназначено для развоза вдоль КИО «Орбита» грузов и пассажиров), а также электросиловых и оптико-волоконных сетей (поддерживают геокосмические коммуникации энергии и информации);
- начало строительства в первых индустриальных кластерах объектов космической жилой и индустриальной инфраструктуры (электротрансформаторные подстанции, транспортно-логистические узлы, дата-центры, станции генерации воздуха и воды, а также утилизации углекислого газа и сточных вод, др.);
- наращивание мощностей космической электроводородной энергетики и числа геолого-разведочных индустриальных экспедиций, выход на энергоресурсные рынки Земли;
- расширение объёмов оказываемых космических услуг на рынке геокосмических перевозок;
- увеличение потока космических туристов.

Основная задача второй фазы – ввод в эксплуатацию КИО «Орбита» как базиса вновь формируемой космической индустрии.

Третья фаза рассматриваемого этапа (продолжительность – пять лет) будет проходить под флагом «Создание космической промышленности».

Планируемые работы в период данной фазы:

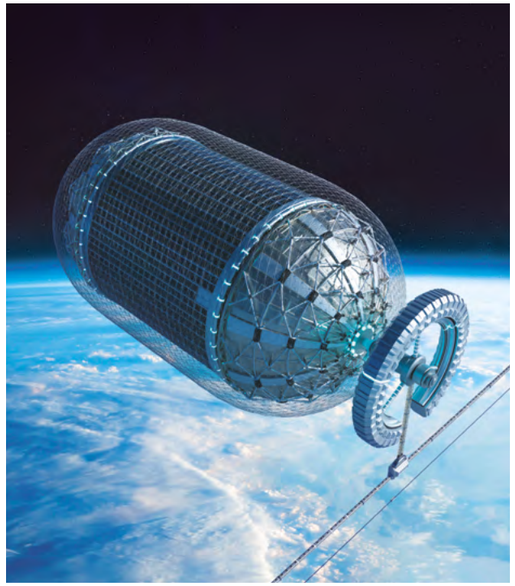
- размещение в построенных индустриальных кластерах новых космических производств конструкционных материалов и машиностроительного оборудования, необходимых для космического индустриального строительства;
- расселение прибывающего в космические командировки персонала, в том числе на длительное время с семьями, а также развитие космического гостиничного сервиса и распределение растущего потока космических туристов в ЭкоКосмоДомах (ЭКД) [3];
- создание в орбитальных ЭКД отрасли космического органического земледелия, хранение и переработка полученного урожая, изготовление из него продуктов питания, развитие фармацевтических и других производств на основе космического сырья растительного и животного происхождения;
- наращивание объёмов оказываемых космических услуг и занятие доминирующих позиций на рынке геокосмических перевозок;
- усиление мощностей космической водородной электроэнергетики, а также увеличение числа геолого-разведочных индустриальных экспедиций и занятие доминирующих позиций на энергосырьевых рынках Земли;
- расширение количества инженерно-подготовленных к кластерной застройке орбитальных линейных участков и числа индустриальных кластеров.

Основная задача третьей фазы – создание космической промышленности, покрывающей собственные потребности космического строительства, выход на энергосырьевые рынки Земли, занятие доминирующего положения на рынке геокосмических транспортных перевозок и космических услуг.

Четвёртая фаза рассматриваемого этапа (продолжительность – пять лет) будет проходить под флагом «Самообеспечение космического строительства и доминирование на энергосырьевых рынках Земли».

Планируемые работы в период данной фазы:

- усиление мощностей космической солнечной электроводородной энергетики и занятие доминирующего положения на энергетическом рынке Земли (путём разложения воды на водород и кислород с помощью солнечной энергии и доставки водорода на Землю);
- увеличение числа геолого-разведочных космических экспедиций и занятие доминирующего положения на сырьевых рынках Земли;



- расширение количества инженерно-подготовленных к кластерной застройке орбитальных линейных участков и числа индустриальных кластеров;
- наращивание космических производств конструкционных материалов и машиностроительного оборудования, предназначенных для космического индустриального строительства;
- расселение прибывающего в космические командировки персонала, в том числе на длительное время с семьями, а также развитие космического гостиничного сервиса и распределение растущего потока космических туристов в построенных ЭКД, соединённых друг с другом в орбитальный линейный город;
- развитие космического органического земледелия, повышение урожая и изготовление из него продуктов питания, выход на полное самообеспечение находящихся в космосе людей продовольственной, фармацевтической и иной продукцией растительного и животного происхождения, выращенной в ЭКД;
- расширение объёмов оказываемых геокосмических транспортных и других космических услуг – достижение абсолютного монопольного доминирования (исключение полётов ракет, имеющих термохимические реактивные двигатели);
- реализация комплекса мероприятий, направленных на подготовку космической среды к массовому прибытию свободных рыночных резидентов космической индустрии, в том числе разработка мер экономического стимулирования роста космических предприятий (льготные условия кредитования, выгодные арендные ставки на индустриальные и обитаемые площади, низкие тарифы на энергию, транспортную логистику и ресурсы, др.), развитие социально-бытовой инфраструктуры для космического персонала, прибывшего с семьями, формирование административной и правоохранительной систем, др.

Основная задача четвёртой фазы – занятие доминирующих позиций на энергосырьевых рынках Земли, абсолютного монопольного положения на рынке геокосмических транспортных и космических услуг, а также создание условий для широкой индустриализации космоса.

Пятая фаза рассматриваемого этапа (продолжительность – минимум пять лет) будет проходить под флагом «Широкая индустриализация космоса».

В данную фазу и в бесконечно долгом последующем времени планируется обеспечение вновь прибывающих свободных рыночных резидентов, имеющих собственные космические инвестиционные проекты, всем необходимым – льготными кредитами, космической электрической энергией и водородным топливом, космическим сырьём и материалами по выгодным тарифам; оказание геокосмических транспортных и космических услуг на привилегированных условиях; предоставление в аренду и лизинг роботизированной рабочей силы, промышленных и обитаемых пространств; др.

Основная задача пятой фазы практической индустриализации ближнего космоса – завершение процесса ударного индустриального перестроения земной техносферы на космический вектор и окончательное снятие с повестки дня вопросов о рисках развития на Земле экологических, ресурсных, демографических, социальных и других катастрофических сценариев, препятствующих устойчивой эволюции земной техногенной человеческой цивилизации бесконечно во Времени в бесконечном Пространстве нашей Вселенной.

Оценка реалистичности предложенного сценария

Оценка реалистичности предложенного сценария является важной частью обоснования проекта «Безракетная индустриализация ближнего космоса» и в целом программы «ЭкоМир». Для подобного анализа авторами статьи изучен восходящий грузо-пассажирский поток, проведено его сравнение с грузоподъёмностью ОТС и частотой совершаемых рейсов.

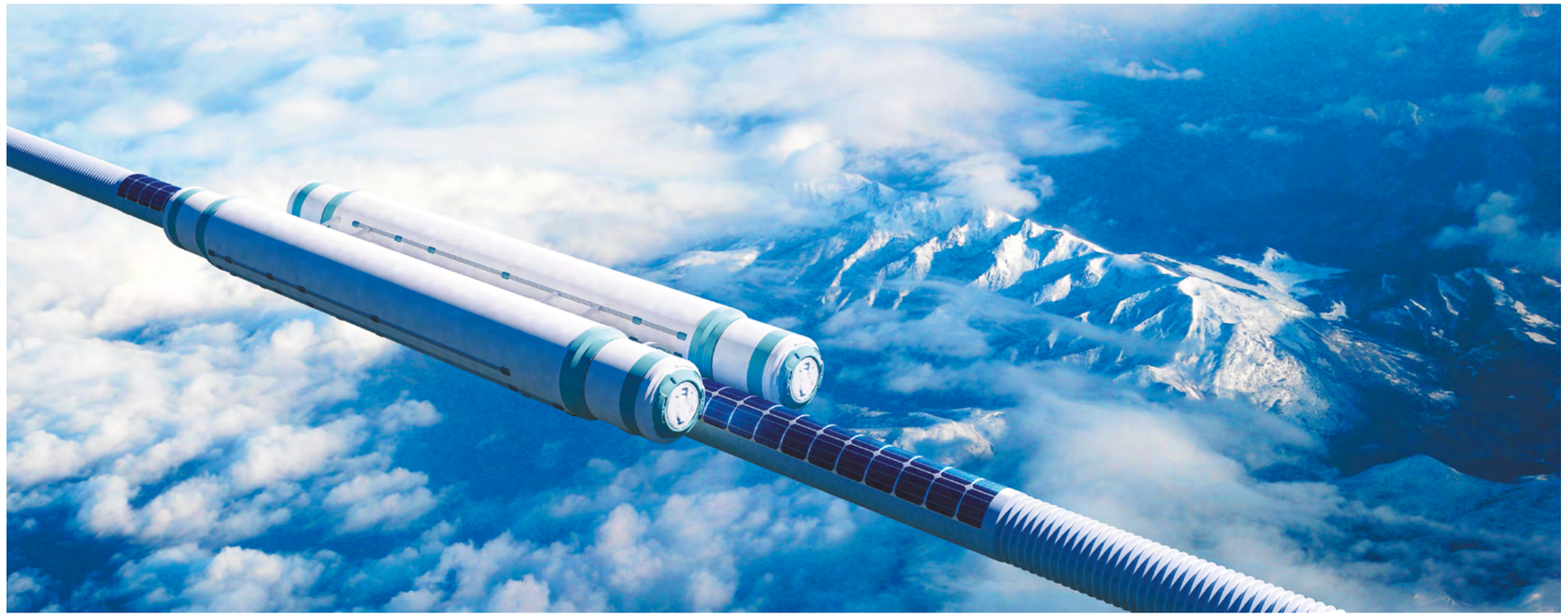
Первая и вторая фазы индустриализации ближнего космоса связаны с колоссальными объёмами строительно-монтажных работ. Прежде всего это строительство КИО «Орбита» протяжённостью 42 520 км (длина на высоте 400 км). Монтаж его линейных конструкций должен вестись сразу по всему периметру орбиты – примерно на 500 строительно-монтажных участках с проходческим темпом порядка 100 м/сут, что вполне достижимо, учитывая размеры доставляемых с планеты на орбиту линейных сегментов сооружения (длиной до 100 м). Каждый такой строительно-монтажный участок будет укомплектован космическими буксирами, бригадами антропоморфных роботов-строителей, которые управляются с ближней дистанции группами операторов, находящихся в обитаемых модулях, а также парком грузовых гондол, предназначенных для временного размещения оборудования, мастерских и запасов топлива, воды и питания. С первых дней следует осуществить монтаж объектов энергетики (например, ещё на 250 строительно-монтажных участках).

Общий вес оборудования одного строительно-монтажного участка экспертно прогнозируется на уровне 500 тонн. Соответственно, общий вес всех строительно-монтажных участков, которые необходимо поднять на околоземную орбиту во время первых полётов, приблизительно равен 2 млн тонн, что составит порядка 20 % грузоподъёмности одного рейса ОТС.

Общий вес линейных конструкций опорного каркаса КИО «Орбита», которые потребуется поднять и смонтировать на орбите Земли в течение первых пяти лет практического этапа безракетной индустриализации ближнего космоса, экспертно оценивается в 200 млн тонн. То есть для их доставки понадобится 20 рейсов (в среднем в год – четыре рейса ОТС с полной загрузкой).

Общий вес 1000 космических солнечных электростанций (каждая имеет мощность 1 ГВт и вес примерно 100 000 тонн [5]), которые нужно поднять и смонтировать на орбите Земли, чтобы обеспечить в космосе 1 ТВт мощности нетто (при мировой мощности нетто 7,14 ТВт в 2018 г. [6]), составит 100 млн тонн. Для формирования такой космической энергосистемы в первые пять лет понадобится 10 рейсов (в среднем в год – два рейса ОТС с полной загрузкой).

Общий вес установок по производству 50 млн тонн в год водорода, включая его сжижение и хранение, которые следует поднять и смонтировать на орбите Земли в течение первых пяти лет практического этапа безракетной индустриализации ближнего космоса, будет равняться не более 10 млн тонн. То есть для доставки данного груза понадобится один рейс (в среднем в год – один рейс ОТС с 20-процентной загрузкой).



Общий вес конструкций и наполняющих компонентов одного индустриального кластера площадью 750 000 м^2, обслуживаемого персоналом в количестве 5000 человек (с семьями), составит около 3 млн тонн. В один индустриальный кластер входит ЭКД в виде тора (весом 400 000 тонн [3]), позволяющий сформировать в космосе экокомфортную среду обитания с искусственной гравитацией и земным ландшафтом. Кроме того, нужно прибавить блок массой около 2 млн тонн, который содержит 100 необитаемых цеховых помещений, каждое имеющее площадь 10 000 м^2 и 2000 тонн оборудования. Около 100 таких индустриальных кластеров необходимо поднять и смонтировать на орбите Земли в течение первых пяти лет третьей фазы практического этапа безракетной индустриализации ближнего космоса. Их общий вес составит порядка 200 млн тонн. То есть для доставки данного груза понадобится 20 рейсов (в среднем в год – четыре рейса ОТС с полной загрузкой).

За первые пять лет с начала полётов ОТС предполагается снарядить около 100 индустриальных геолого-разведывательных экспедиций на Луну и к астероидам. Средняя масса оборудования в составе каждой подобной экспедиции экспертно оценивается в 100 000 тонн. Таким образом, общий вес оборудования экспедиций, которое необходимо поднять и отправить в космическую индустриальную экспедицию с орбиты Земли в течение первых пяти лет практического этапа безракетной индустриализации космоса, составит около 10 млн тонн. То есть для доставки данного груза понадобится один рейс (в среднем ежегодно на протяжении пяти лет – один рейс ОТС с 20-процентной загрузкой).

С первых дней индустриализации космоса планируется оказывать услуги по выводу спутников на экваториальные орбиты Земли, однако, учитывая возросшую доступность тарифов, спрос на такие услуги прогнозируется на порядок бóльшим. Рынку будут предложены новые услуги – сбор космического мусора (его объём оценивается экспертами NASA на уровне 8000 тонн [7]), а также обслуживание, дозаправка функционирующих на орбитах спутников и их замена на спутники, размещённые на круговых экваториальных орбитах, поскольку выведенные на другие орбиты спутники при своём движении будут пересекать плоскость экватора, а значит, представят угрозу для ОТС и КИО «Орбита». Валовый объём грузоперевозок в данном сегменте вряд ли превысит 1 млн тонн в год в обе стороны, т. е. в год понадобится один рейс ОТС с 10-процентной загрузкой.

Вновь открытое направление массового космического туризма (например, 100 000 путешественников в первый год, в последующем – ежегодное удвоение их числа) потребует только малую долю загрузки ОТС – в пределах 1 % (с учётом средней массы одного туриста и его багажа – 100 кг).

Выводы и дальнейшие направления исследования

Приведённый выше детализированный базовый сценарий проекта «Безракетная индустриализация ближнего космоса» и программы «ЭкоМир» позволяет утверждать, что ранее предложенный инженером А.Э. Юницким укрупнённый базовый сценарий [8] является полностью реализуемым.

Даже в первые напряжённые годы этапа практической индустриализации ближнего космоса число рейсов ОТС с полной загрузкой не превысит 12 рейсов в год, или одного рейса в месяц (при том, что такая геокосмическая транспортная система способна совершать один рейс каждую неделю).

Требует дополнительного изучения вопрос, затрагивающий возможности техносферы и биосферы Земли обеспечить ресурсами столь масштабный объём строительства. Данная задача станет предметом технико-экономического обоснования в рамках следующего исследования.

Литература

1. *Программа «ЭкоМир» [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: http://ecospace.org/images/Program_EcoSpace_RU.pdf. – Дата доступа: 05.07.2021.*
2. *Бабаян, А.В. Индустриализация космоса – новая эра человеческого развития и необходимый шаг для спасения биосферы Земли (экономическое обоснование) / А.В. Бабаян // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / Астроинженерные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 103–109.*
3. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.: ил.*
4. *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. / Астроинженерные технологии, Струнные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – С. 116–137.*
5. *Космическая система энергоснабжения земли: эффективность, проблемы создания и решения / А.С. Коротеев [и др.] // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2009. – № 4. – С. 3–20.*
6. *Энергетика стран мира [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: http://www.eeseaec.org/energetika-stran-mira/. – Дата доступа: 05.07.2021.*
7. *Orbital Debris Program Office [Electronic resource]. – 2020. – Mode of access: https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/faq/. – Date of access: 05.07.2021.*
8. *Программа «ЭкоМир» [Электронный ресурс] / Советский фонд мира, Центр «Звёздный мир»; под общ. рук. А.Э. Юницкого. – Гомель: Центр «Звёздный мир», 1988. – Режим доступа: https://yunitskiy.com/author/1988/1988_23.pdf. – Дата доступа: 05.07.2021.*

УДК 65.011.8:629.7

Отбор производств для их переноса в ближний космос

Юницкий А.Э.[1, 2]
Климков А.Г.[2, 3]

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

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

[3] Белорусский институт системного анализа и информационного обеспечения научно-технической сферы, г. Минск, Беларусь

На основе обзора научной литературы и анализа за последние 30 лет отдельных валовых показателей развития человечества (относительно природно-экологической и промышленной составляющих) сделан вывод о необходимости переноса земных производств в ближний космос как единственно возможном сценарии спасения земной технократической цивилизации от будущей гибели. В связи с актуальностью определения подхода к выбору конкретных отраслей (производств, предприятий) для их перемещения в космос и отсутствием до настоящего времени подобного методического инструментария предложена соответствующая авторская модель с рекомендациями по её практическому использованию.

Ключевые слова:
биосфера, ближний космос, загрязнение окружающей среды, индекс целесообразности, индустриализация космоса, критерий, методика оценки, релокация производств, энергетические ресурсы.

Введение

Земная цивилизация, избравшая технократический вектор своего развития ещё десятки тысяч лет назад [1], со всевозрастающим ускорением движется в направлении технико-технологической экспансии. Ежедневно внедряются поражающие воображение научные разработки, автоматизируются и роботизируются различные процессы жизнедеятельности, строятся новые, невероятной формы и всё более высокие небоскрёбы и др. Миссия технико-технологического прогресса в общем смысле заключается в повышении производительности труда и экономии рабочего времени человека [2], что действительно удаётся сполна. Белорусский учёный В.Ф. Байнёв подчеркнул, что технико-технологический прогресс есть не что иное, как «процесс совершенствования техники и технологий… за счёт замещения природными силами энергии (физической, интеллектуальной, творческой) человека» [2].

Однако прогресс в развитии человечества имеет как положительные, так и отрицательные результаты. Одной из главных негативных тенденций, с каждым годом приобретающей бóльшую остроту и потому рассмотренной достаточно подробно в настоящей статье, является ухудшающаяся экологическая ситуация на планете, которую в целом можно охарактеризовать следующим образом: «…до точки невозврата земной технократической цивилизации осталось два-три поколения, после чего её деградацию и угасание невозможно будет остановить» [1].

Техносфера, созданная одним видом живых организмов *Homo sapiens*, стала за два последних столетия индустриального развития главным и, по сути, единственным на планете источником разрушения биосферы, которая формировалась миллионами видов живых организмов в течение миллиардов лет эволюции. Основные структурные элементы живой биосферы (кислород и озоновый слой атмосферы, плодородная почва, коралловые острова и др.) образованы из отходов метаболизма микроорганизмов, флоры и фауны. Мёртвая техносфера появилась внутри биосферы совершенно на других, антагонистических принципах; результат её «метаболизма» – совсем иные отходы: выхлопные и дымовые газы, содержащие сотни канцерогенов, продукты износа шин и асфальта, кислотные дожди, шлак, шлам, зола, терриконы и др. Общепланетарная экспансия техносферы, выросшая до масштабов биосферы, этими опасными веществами разрушает живую оболочку Земли и угрожает достичь точки невозврата, принять необратимый характер.

Таким образом, многие учёные едины во мнении о том, что перемещение промышленных мощностей с Земли на орбиту или в более дальний космос – это неизбежность, одно из ключевых направлений перехода к устойчивому развитию техногенной цивилизации [1, 3, 4], спасению биосферы и человечества. Главные аргументы в данном вопросе таковы: исчерпание ограниченных сырьевых и иных природных ресурсов, негативное влияние на экологию и климат, перенаселение планеты. Многие экосистемы планеты уже находятся на грани уничтожения из-за чрезмерной эксплуатации человеком. Именно поэтому идея промышленного и коммерческого освоения космических ресурсов становится настолько реальной, что в некоторых американских вузах планируют обучать космических геологов и шахтёров [4].

Вместе с тем, несмотря на прогнозируемую (по мнению авторов, неизбежную) индустриализацию ближнего космоса, в многочисленных научных трудах и открытых специализированных источниках практически не встречаются работы, посвящённые принципиально значимой проблеме: каким образом (на основе какого методического аппарата) осуществлять отбор производств для их последующего переноса в ближний космос?

Соответственно, цель проводимого исследования – обоснование необходимости перемещения земных производств в ближний космос и разработка методического аппарата для оценки целесообразности такого действия применительно к различным типам производств (отраслей).

Задачи, которые решены в рамках статьи:

- аргументация важности индустриализации космического пространства, в том числе исходя из анализа отдельных валовых показателей развития человечества за последние 30 лет и установленных негативных тенденций;
- изучение научных публикаций и данных открытых источников информации с выявлением отсутствия методических подходов к отбору производств (предприятий, отраслей) для их переноса (релокации) в космос;
- создание методики оценки целесообразности перемещения производств в ближний космос и рекомендаций по её практическому использованию.

Обзор литературы

Анализ отдельных показателей развития человечества относительно природно-экологической и промышленной составляющих в общепланетарном измерении за 1990–2018 гг. приведён в таблице 1.

Таблица 1 – Анализ отдельных валовых показателей развития человечества (за 1990–2018 гг.)*

Наименование показателя, единица измерения	Значения по годам			Темп прироста 2018 г. к 1990 г., %
	1990 г.	2005 г.	2018 г.**	
Население Земли, млрд чел.	5,28	6,51	7,59	+43,75
Потребление электроэнергии, кВт·ч/чел	2127	2656	3412	+60,35
Энергопотребление, тонн нефтяного эквивалента/чел	1663	1767	1922	+15,53
Площадь пашни, га/чел	0,23	0,21	0,18	–19,3
Площадь лесов, % от площади земли	31,63	31	30,72	–2,88
Выбросы CO_2, т/чел	4,25	4,31	4,56	+7,29
Экспорт топлива, % от общего объёма товарного экспорта	10,71	13,37	14,25	+33,05
Производство электроэнергии из источников нефти, газа и угля, % от общемирового объёма	61,94	65,76	65,24	+5,33
Добавленная стоимость в промышленности (включая строительство), трлн USD (цены 2010 г.)	11,86	16,21	23,15	+95,19
Занятость в промышленности, % от общемировой занятости	21,86	21,13	22,93	+4,89

* На основе данных [5].
** По отдельным показателям приведены данные за 2016 г.

Информация, представленная в таблице 1, свидетельствует об ухудшении (обострении) экологической ситуации в мире, постоянном росте нагрузки и степени оказываемого человеком воздействия на оболочку планеты, заселённую живыми организмами, – биосферу. Так, за последние 30 лет количество проживающих на Земле людей увеличилось почти в 1,5 раза, в то время как удельный объём совокупного энергопотребления и выбросов углекислого газа (в расчёте на душу населения) приобрёл ещё большие масштабы; почти вдвое поднялась добавленная стоимость в промышленности (а вместе с ней и всевозрастающие объёмы промышленного производства). Как следствие, значительно сократились площади пашни и лесов. Несмотря на множество предпринимаемых правительствами и международными организациями санационных (оздоровительных) мероприятий, остановить подобную тенденцию не удаётся.

Сведения, приведённые в таблице 1, можно дополнить следующими актуальными фактами:

- по информации учёных Техасского университета в Остине (США), глобальное загрязнение воздуха сокращает продолжительность жизни человека в среднем на год (главным образом это связано с выбросами вредных веществ заводами и различными видами транспорта) [6];
- по оценкам Всемирной организации здравоохранения, отравление атмосферы ежегодно приводит к смерти около 7 млн человек [7] (0,1 % населения планеты), из них порядка 800 000 случаев отмечается в Европе [8].

Российский учёный В.Ю. Клюшников в своём труде подчеркнул: «Допустимый предел производства энергии на планете Земля составляет примерно 0,1 % от солнечной энергии, поступающей через атмосферу на земную поверхность, что соответствует примерно 90 ТВт (90 млрд кВт). При переходе через этот предел в земной среде начинаются необратимые процессы разрушения условий обитания. При сохранении существующих тенденций промышленного роста в 2100 г. общее производство энергии должно возрасти до 98 млрд кВт, т. е. допустимая норма будет

превышена со всеми вытекающими из этого роковыми для человечества последствиями» [9].

Таким образом, единственно возможным обоснованным и целесообразным сценарием спасения планеты от неминуемых в скором времени катастрофических экологических проблем является индустриализация (промышленное освоение) космоса.

Глава Amazon и Blue Origin Дж. Безос утверждает, что космос в первую очередь интересен своими энергетическими ресурсами, поскольку они на Земле рано или поздно истощатся [10]. Именно поэтому развитие энергоёмких отраслей промышленности в космосе позволит, как дополняет В.Ю. Клюшников, «коренным образом оздоровить окружающую среду и превратить Землю в цветущий сад» [9].

По мнению экс-сотрудника НАСА, профессора Университета Центральной Флориды (США) Ф. Метцгера, благодаря Солнечной системе можно организовать производственные мощности, во много раз превышающие те, что имеются сейчас на нашей планете [10].

Данную оценку также подтверждает белорусский учёный и изобретатель, создатель геокосмической транспортной системы и ряда транспортно-инфраструктурных проектов на основе струнных технологий А.Э. Юницкий: «В космосе – идеальные условия для самых современных технологий. Там круглогодично, днём и ночью, вот уже 5 млрд лет работает природный экологически чистый термоядерный реактор под названием «Солнце», который без всяких побочных эффектов типа «Чернобыль» обеспечит внеземную промышленность энергией на миллионы лет технологического развития. Там бесконечные сырьевые, энергетические, технологические (невесомость и глубокий вакуум) и пространственные ресурсы» [1].

На сегодняшний день уже имеется достаточное количество отраслей, в которых применяются вакуумные технологии, позволяющие существенно улучшить свойства и качества производимой продукции (товаров, услуг): атомная, металлургическая, авиационная, химическая, электронная, целлюлозно-бумажная промышленности, машиностроение [11]. К примеру, если процесс производства стали перенести в космос, то в данный сплав не попадут кислород, азот и иные элементы. Соответственно, априори будет обеспечен процесс дегазации, что предотвратит образование всевозможных дефектов (неметаллических включений), значительно ухудшающих качество полученного продукта, и одновременно оптимизирует физико-механические и прочностные характеристики стали.

В целом концепция промышленного освоения космоса зародилась минимум полтора столетия назад. О ней говорил ещё русский религиозный мыслитель и философ-футуролог XIX в. Н.Ф. Фёдоров, которого называют предшественником космических идей великого К.Э. Циолковского [9, 12]. Одним из пунктов программы К.Э. Циолковского, предусматривающей поэтапное освоение космического пространства и одновременно являющейся первой в истории полноценной теорией об индустриализации космоса (1926 г.), был раздел «Развивается промышленность в космосе» [12, 13].

Таким образом, в настоящее время очевиден вывод: чрезвычайно актуально массовое и скорейшее освоение космоса как безграничного с различных точек зрения пространства для развёртывания промышленных технологий, поскольку индустриализация космоса – это «единственный путь к сохранению и развитию цивилизации» [14].

Данное решение поддержано многочисленными учёными, компаниями и государствами. Космическое пространство с его возможностями и потенциальными богатствами интересует как правительства многих стран (США, России, Китая, Индии и др.), так и крупный частный бизнес (компании DST Global, USM Holdings, S7 Airlines, Virgin Group, Facebook, Google, Amazon и др.), которые инвестируют в перспективное направление немалые средства [10, 15]. Далее человечество станет всё активнее осваивать космическое пространство, это будет происходить до тех пор, пока не развернутся (в скором времени) промышленные предприятия вне нашей планеты [10].

Вместе с тем в научных работах только единичных авторов (белорусских и зарубежных) прослеживаются идеи и отдельные концептуальные подходы относительно научной и практической проблемы отбора конкретных производств для развёртывания их на околоземной орбите.

Подобное концептуальное и практико-ориентированное исследование и соответствующее обоснование содержатся в многочисленных трудах основателя безракетного освоения ближнего космоса А.Э. Юницкого. В частности, он отмечает: «На Земле в качестве отраслей останутся только земное сельское хозяйство и медицина, наука и образование, экологически чистый транспорт и инфраструктура, экологически чистое строительство и пешеходные линейные города, а также отдельные, экологически безопасные, структурные элементы общепланетарной энергетики, связи и машиностроения, сфера услуг» [14]. Белорусский изобретатель утверждает, что существенно трансформируется аграрный сектор; на земную орбиту постепенно переместятся (будут вновь созданы) промышленные производства, научные лаборатории, заводы, фабрики, цеха (прежде всего в области энергетики, машиностроения, металлургии и химии) [1].

Кроме того, наличие в космическом пространстве таких уникальных физических характеристик, как невесомость, глубокий вакуум, технологическая чистота (отсутствие пыли и микроорганизмов), радиация, криогенные и сверхвысокие температуры [1], выступает важным преимущественным фактором перемещения земных производств в космос. Инженер А.Э. Юницкий резюмирует: «Объективные причины должны в будущем переместить сферу земного материального производства почти целиком в космос» [1].

Эксперт А.В. Бабаян в рамках проведённого в 2019 г. исследования отмечает, что космический вектор индустриализации космоса должен предполагать перенос за пределы планеты следующих отраслей (направлений): геокосмический транспорт (в виде общепланетарного транспортного средства (ОТС)), космическая солнечная энергетика, добыча полезных ископаемых и их переработка. По его мнению, перечисленные производства являются наиболее неблагоприятными относительно загрязнения окружающей среды и истощения земных ресурсов [16].

Российский специалист Н.С. Синюк считает, что в целях сохранения планеты для человечества с Земли нужно убрать бóльшую часть энерго- и материалоёмких промышленных производств. При этом очевидную выгоду в общепланетарном исчислении может принести «вынос в космос (на околоземные и другие орбиты, планеты и их спутники, астероиды) в первую очередь экологически опасных, затем – энерго- и материалоёмких, а впоследствии – вообще всех производств и обеспечивающей их энергетической инфраструктуры» [12].

Учёный В.Ю. Клюшников значительное внимание уделяет вопросам индустриализации космоса, пошагового развёртывания в нём промышленного производства и, в частности, добычи (в том числе с описанием технологических особенностей) необходимых для наукоёмких отраслей невозобновляемых природных ресурсов – осмия, палладия, платины, рения, родия, рутения и др. [9].

Следует подчеркнуть: рассмотрение путей решения обозначенной в статье научной проблемы ограничивается трудами перечисленных авторов. В англоязычных авторитетных источниках предложения по данному вопросу не обнаружены. Таким образом, несмотря на всё большую актуальность и важность, в научной литературе к настоящему времени отсутствуют какие-либо прозрачные подходы к отбору производств (отраслей) для их скорого переноса в космос. При этом вряд ли может возникнуть сомнение в том, что все без исключения земные производства товаров и услуг невозможно и нецелесообразно переносить в ближний космос. Например, оптимально переместить не всю энергетику как отрасль, а только ту её часть, которая необходима для производства алюминия, стали и другой промышленной продукции. Однако для того, чтобы в земных домах светили лампочки и работали электрические плиты, соответствующую часть энергетики следует оставить на планете, поскольку доставка энергии из космоса (кроме солнечного излучения) может быть неэффективной и крайне опасной.

Описание метода

В основе предлагаемой методики оценки целесообразности переноса производств в ближний космос лежит подход, построенный на использовании восьми критериев и соответствующих им показателей с неравнозначностью влияния их удельных весов (весовых коэффициентов). Сформулированы следующие критерии, необходимые для отбора конкретных отраслей:

- выбросы вредных веществ;
- наличие ресурсов в ближнем космосе;
- качество (конкурентоспособность) производимой продукции (товаров, услуг);
- потребность в трудовых ресурсах;
- местонахождение;
- энергетическая мощность;
- длительность производственного процесса;
- производственная площадь.

В результате проведения расчётов согласно представленной методике нужно определить индекс целесообразности переноса производств в ближний космос (выражается в процентах).

Восьми искомым критериям для проведения оценки соответствует такое же количество показателей (таблица 2). При этом половина из них (для расчёта критериев «Выбросы вредных веществ», «Местонахождение», «Энергетическая мощность», «Производственная площадь») являются количественными и имеются в открытых (прежде всего внутренних для компаний) источниках информации, в том числе статистических; они достаточно легко рассчитываются. Значения остальных четырёх показателей (для критериев «Наличие ресурсов в ближнем космосе», «Качество (конкурентоспособность) производимой продукции (товаров, услуг)», «Потребность в трудовых ресурсах», «Длительность производственного процесса») определяются самим предприятием экспертным путём (методом экспертных оценок).

Таблица 2 – Матрица отбора производств для их переноса в ближний космос

Критерий	Соответствующий критерию показатель	Весовой коэффициент критерия K	Поправочный (условный) коэффициент δ					Произведение $K_n \times \delta_n$
			1	0,75	0,5	0,25	0	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Выбросы вредных веществ	Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников, т/год	0,2	Более 5000	1001–5000	101–1000	11–100	Менее 10	$K_1 \times \delta_1$
2. Наличие ресурсов в ближнем космосе	Степень наличия в ближнем космосе ресурсов и сырья (полезных ископаемых, солнечной энергии, материалов и др.), необходимых для полноценного осуществления производственной деятельности без привлечения земных ресурсов	0,15	Изобилие	В достаточном объёме	Встречается нечасто	Встречается в единичных случаях	Полное отсутствие	$K_2 \times \delta_2$
3. Качество (конкурентоспособность) производимой продукции (товаров, услуг)	Улучшение характеристик (в том числе срока службы) производимой в космосе продукции (товаров, услуг) за счёт естественных свойств среды (невесомости, глубокого вакуума, технологической чистоты и др.)	0,15	Колоссальное (в десятки раз)	Значительное (в 5–10 раз)	Несущественное (в 1–2 раза)	Без изменений	Ухудшение	$K_3 \times \delta_3$
4. Потребность в трудовых ресурсах	Примерная доля сотрудников, которых нужно транспортировать в ближний космос вместе с производством для обеспечения деятельности предприятия (при условии максимальной роботизации производственных процессов), % от текущей списочной численности	0,1	Менее 10	11–25	26–50	51–75	76–100	$K_4 \times \delta_4$

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5. Местонахождение	Индекс качества воздуха (ИКВ, IQA) в регионе, на территории которого располагаются земные производственные мощности предприятия, ед.	0,1	Сильно загрязнённый (более 200)	Умеренно загрязнённый (151–200)	Слегка загрязнённый (101–150)	Мало загрязнённый (51–100)	Практически не загрязнённый (не более 50)	$K_5 \times \delta_5$
6. Энергетическая мощность	Полная энергетическая мощность предприятия, МВт	0,1	Более 100	51–100	11–50	1–10	Менее 1	$K_6 \times \delta_6$
7. Длительность производственного процесса	Средняя продолжительность превращения сырья (материалов, полуфабрикатов, комплектующих) в готовую продукцию (услугу) на Земле в рамках осуществления основного вида деятельности, дней	0,1	Более 30	21–30	11–20	1–10	Менее 1	$K_7 \times \delta_7$
8. Производственная площадь	Площадь производственных зданий (помещений) предприятия, тыс. м^2	0,1	Более 50	21–50	6–20	1–5	Менее 1	$K_8 \times \delta_8$
Итого		1						

Индекс целесообразности переноса производств в ближний космос рассчитывается по формуле (1):

$$I = \sum_{n=1}^{8} K_n \times \delta_n \times 100\ \%, \qquad (1)$$

где I – индекс целесообразности переноса производств в ближний космос (в диапазоне от 0 до 100 %);

n – порядковый номер критерия;

K – весовой коэффициент критерия, отражающий степень его приоритетности;

δ – поправочный (условный) коэффициент в зависимости от отнесения фактического значения по предприятию к конкретной категории согласно шкале.

Все критерии имеют весовой коэффициент K, отражающий их важность (приоритетность) при отборе производств для переноса в космос. Наиболее значимым (что также в целом подтверждают в своих трудах представители научного сообщества в данной области А.Э. Юницкий, А.В. Бабаян, В.Ю. Клюшников, Н.С. Синюк) установлен критерий «Выбросы вредных веществ», который рассчитывается путём определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников (тонн в год) как наиболее широко применяемый и адекватный статистический показатель в области охраны окружающей среды относительно выбросов вредных веществ со значением 0,2 (или 20 %).

Например, в Республике Беларусь подобные сведения ежегодно предоставляются юридическими лицами (кроме субъектов малого предпринимательства) в Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды в соответствии с формой государственной статистической отчётности 1-воздух «Отчёт о выбросах загрязняющих веществ и диоксида углерода в атмосферный воздух от стационарных источников выбросов», утверждённой постановлением Национального статистического комитета от 10 декабря 2019 г. № 122 [17]. Аналогичным образом зарубежными статистическими органами осуществляется мониторинг выбросов загрязняющих веществ в воздух в своих странах (как в целом, так и отдельно твёрдых веществ, диоксида серы, оксида углерода, азота, углеводородов, неметановых летучих органических соединений и др.), проводятся их количественные анализ и оценка. При этом практика показывает, что значительно реже отслеживается уровень выбросов вредных веществ в иные составляющие биосферы (литосфера (земля) и гидросфера (вода)), в связи с чем в статистических сборниках и других открытых научных источниках отсутствуют аналитические сведения, подобные данным о выбросах в атмосферный воздух.

Весовой коэффициент K с присвоением величины 0,15 (средняя степень значимости) определён для двух критериев: «Наличие ресурсов в ближнем космосе» и «Качество (конкурентоспособность) производимой продукции (товаров, услуг)», которые могут оцениваться экспертным путём с помощью соответствующих им показателей:

- «Степень наличия в ближнем космосе ресурсов и сырья (полезных ископаемых, солнечной энергии, материалов и др.), необходимых для полноценного осуществления производственной деятельности без привлечения земных ресурсов»;
- «Улучшение характеристик (в том числе срока службы) производимой в космосе продукции (товаров, услуг) за счёт естественных свойств среды (невесомости, глубокого вакуума, технологической чистоты и др.)».

Оставшиеся пять критериев («Потребность в трудовых ресурсах», «Местонахождение», «Энергетическая мощность», «Длительность производственного процесса» и «Производственная площадь») в рамках разработанной методики имеют одинаково наименьший весовой коэффициент K в размере 0,1.

Кроме того, каждому критерию в зависимости от фактического значения показателя, по которому он рассчитывается, соответствует величина поправочного (условного) коэффициента δ согласно шкале, представленной в таблице 2.

Количественные интервальные параметры для данной шкалы определены исходя из сведений, содержащихся в открытом доступе [5, 18–20], с учётом общемировых подходов в классификации отдельных используемых показателей (например, [21]); они также выявлены логическим и экспертным путём на основе анализа сведений, представленных некоторыми компаниями и взятых из других литературных источников. При этом для расчёта поправочного (условного) коэффициента δ установлены пять равношаговых интервалов от 0 до 1 (шаг 0,25). Присвоение коэффициента 1 (максимальный размер) означает наивысшую степень целесообразности переноса производства в космос по рассматриваемому критерию.

Таким образом, на основе выявления поправочного (условного) коэффициента δ для каждого из восьми критериев заполняется таблица 2, после чего согласно формуле (1) рассчитывается индекс I целесообразности переноса производств в ближний космос.

На основе оценки, проведённой с помощью предложенной методики, на сегодняшний день принимается одно из двух решений:

- при индексе I, превышающем 50 % (принцип простого большинства), перенос производств в ближний космос признаётся целесообразным (актуальным);
- при индексе I, равном 50 % и менее, перенос производств в ближний космос считается неэффективным (преждевременным).

В любом случае при сопоставлении различных производств (отраслей) для их возможной релокации в космос данный процесс может быть более результативным только для тех, значение индекса I которых выше.

Результаты и анализ

Предлагаемая методика (модель отбора) носит рекомендательный и одновременно фундаментальный (с авторской точки зрения) характер, поскольку входящие в её состав критерии и показатели являются в совокупности важнейшими факторами в оценке целесообразности переноса производств в космос в общепланетарном масштабе.

Соответствующие восьми критериям показатели в определённой степени интегрируют в себе экологическую, энергетическую, производственную, экономическую и социальную составляющие.

Финансово-экономический механизм релокации, а также ряд критериев, связанных с экономической состоятельностью предприятий (рыночная стоимость компании, рентабельность продаж, величина чистой годовой прибыли и др.) и их возможностью в реализации данного масштабного процесса, могут приниматься во внимание только после рекомендации о переносе производственных мощностей на околоземную орбиту с учётом результатов оценки, полученной на основе предложенной методики. В качестве экономической модели для установления целесообразности релокации может использоваться [22].

В рамках применения представленной методики для проведения анализа и оценки по отраслям (видам экономической деятельности) следует их систематизировать согласно Международной стандартной отраслевой классификации.

Рассматриваемая в настоящей статье методика (модель) является авторской; её апробация на примере некоторых белорусских и зарубежных промышленных предприятий (организаций реального сектора) будет осуществляться при продолжении научных исследований в данной области.

Выводы и дальнейшие направления исследования

Авторы подтверждают свою ранее заявленную позицию о необходимости скорейшей индустриализации околоземных пространств и переноса производств с планеты Земля в ближний космос в связи с постоянно увеличивающейся численностью населения, обостряющейся экологической ситуацией, исчерпанием природных ресурсов. Благодаря полномасштабному промышленному освоению ближнего космоса человечество получит возможность:

- решить глобальные экологические проблемы и вызовы;
- вынести вредное промышленное производство с поверхности Земли за пределы её биосферы – на околоземные орбиты;

• комфортно и безопасно жить на планете в гармонии с природой и др.

В процессе работы выявлено отсутствие научных трудов, посвящённых отбору производств для их переноса в ближний космос. Предложенная в статье методика включает в себя восемь критериев и столько же показателей. Она ориентирована на осуществление расчёта как на микроуровне (на примере конкретных предприятий, учитывая их фактические статистические данные и используя метод экспертной оценки), так и мезоуровне (на примере отдельных отраслей на основе экстраполирования и масштабирования).

Планируется адаптация, а также апробация методики для будущего применения её компетентными органами государственного управления, общественными региональными и международными организациями (в том числе занимающимися исследованиями космоса и решением проблем в данной сфере), предприятиями реального сектора для определения целесообразности переноса производств (отраслей) в ближний космос.

Литература

1. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.: ил.*
2. *Байнёв, В.Ф. Технико-технологический прогресс и энерговременной дуализм труда / В.Ф. Байнёв // Модернизация хозяйственного механизма сквозь призму экономических, правовых, социальных и инженерных подходов: материалы XII междунар. науч.-практ. конф., Минск, 15 марта 2018 г. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол. С.Ю. Солодовников [и др.]. – Минск: БНТУ, 2018. – С. 33–34.*
3. *Мироненко, Е.Д. Освоение космоса как способ выживания на Земле / Е.Д. Мироненко, Д.Х. Баляков, Н.В. Фомина // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2010. – Т. 2, № 6. – С. 404–405.*
4. *Сапожников, В. Учёные предлагают перенести земную промышленность в космос [Электронный ресурс] / В. Сапожников. – 2019. – Режим доступа: https://express-k.kz/news/kosmos/uchenye_predlagayut_perenesti_zemnuyu_promyshlennost_v_kosmos-144048. – Дата доступа: 11.03.2021.*
5. *Indicators [Electronic resource] // The World Bank. – Mode of access: https://data.worldbank.org/indicator?tab=all. – Date of access: 15.03.2021.*
6. *Ambient $PM_{2.5}$ Reduces Global and Regional Life Expectancy / J.S. Apte [et al.] // Environmental Science & Technology Letters. – 2018. – Vol. 5, No. 9. – P. 546–551.*
7. *7 миллионов смертей ежегодно связаны с загрязнением воздуха [Электронный ресурс] // Всемирная организация здравоохранения. – 2014. – Режим доступа: https://www.who.int/ru/news/item/25-03-2014-7-million-premature-deaths-annually-linked-to-air-pollution. – Дата доступа: 04.03.2021.*
8. *Cardiovascular Disease Burden from Ambient Air Pollution in Europe Reassessed Using Novel Hazard Ratio Functions / J. Lelieveld [et al.] // European Heart Journal. – 2019. – Vol. 40, No. 20. – P. 1590–1596.*
9. *Клюшников, В.Ю. Индустриализация как стратегическая парадигма освоения и использования космического пространства / В.Ю. Клюшников // Воздушно-космическая сфера. – 2018. – № 2 (95). – С. 14–21.*
10. *Учёные и главы технологических корпораций считают вывод промышленных предприятий в космос реальностью [Электронный ресурс] // Хабр. – 2019. – Режим доступа: https://habr.com/ru/company/madrobots/blog/458966/. – Дата доступа: 14.03.2021.*
11. *Области применения [Электронный ресурс] // Современные технологии и криогенные системы. – Режим доступа: http://stikcs.ru/page/Oblasti_primeneniya. – Дата доступа: 04.04.2021.*
12. *Синюк, Н.С. Индустриализация космоса / Н.С. Синюк, В.А. Козловская // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2011. – Т. 2, № 7. – С. 404–405.*
13. *Циолковский, К.Э. Промышленное освоение космоса: сб. тр. / К.Э. Циолковский. – М.: Машиностроение, 1989. – 280 с.*
14. *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.*
15. *Петров, Е. Космическое производство: преимущества, перспективы, проблемы [Электронный ресурс] / Е. Петров. – Режим доступа: http://sky-way.org/kosmicheskoe-proizvodstvo-preimushhestva-perspektivy-problemy/. – Дата доступа: 11.03.2021.*
16. *Бабаян, А.В. Индустриализация космоса – новая эра человеческого развития и необходимый шаг для спасения биосферы Земли (экономическое обоснование) / А.В. Бабаян // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / Астроинженерные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 103–109.*
17. *Об утверждении формы государственной статистической отчётности 1-воздух (Минприроды) «Отчёт о выбросах загрязняющих веществ и диоксида углерода в атмосферный воздух от стационарных источников выбросов» и указаний по её заполнению [Электронный ресурс]: постановление Нац. стат. ком. Респ. Беларусь, 10 дек. 2019 г., № 122 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=T21904423p. – Дата доступа: 11.03.2021.*
18. *Тузов, К. Экология и экономика: динамика загрязнения атмосферы страны в преддверии ратификации Парижского соглашения [Электронный ресурс] / К. Тузов, И. Сабельников // Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики. – 2019. – № 52. – Режим доступа: https://ac.gov.ru/files/publication/a/23713.pdf. – Дата доступа: 21.03.2021.*
19. *Чистый воздух для жизни [Электронный ресурс] // ЕЭК ООН. – Режим доступа: https://unece.org/sites/default/files/2021-06/Clean-air-for-life_rus.pdf. – Дата доступа: 14.03.2021.*
20. *Шашлова, Н.В. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух в Российской Федерации [Электронный ресурс] / Н.В. Шашлова // ЕЭК ООН. – Режим доступа: https://unece.org/fileadmin/DAM/stats/documents/ece/ces/ge.33/2009/zip.32.r.pdf. – Дата доступа: 11.03.2021.*
21. *World's Air Pollution: Real-Time Air Quality Index [Electronic resource] // WAQI.Info: World Air Quality Index Project. – Mode of access: https://waqi.info/. – Date of access: 15.03.2021.*
22. *Юницкий, А.Э. Локализация объектов промышленного назначения на круговой экваториальной околоземной орбите / А.Э. Юницкий, А.В. Кушниренко, Е.Н. Кулик // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 12 сент. 2020 г. / Астроинженерные технологии, Струнные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – С. 230–245.*

УДК 537.613

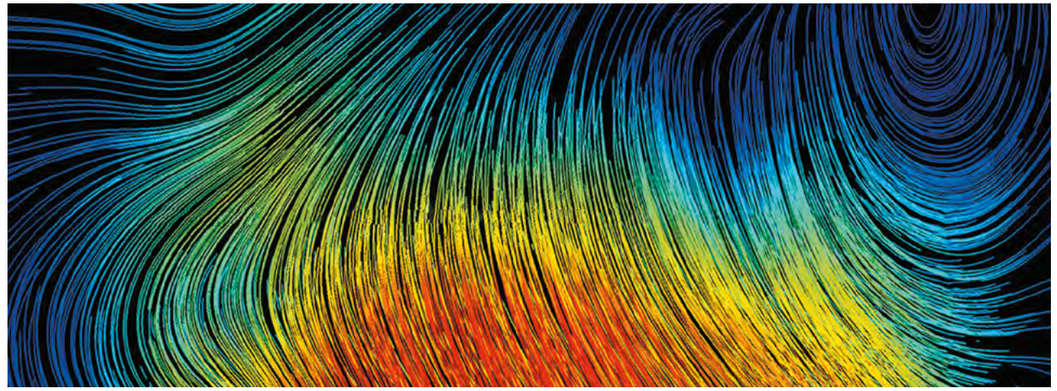
Применение магнитного подвеса в высокоскоростных транспортных системах

Лукша В.Л.

ЗАО «Струнные технологии»,
г. Минск, Беларусь

Изучена возможность применения магнитных подвесов в составе транспортных систем нового поколения, движущихся со скоростью 400 км/ч и более. Приведены силовые и динамические характеристики, детально рассмотрена конструкция адаптированного для использования в составе общепланетарного транспортного средства (ОТС) магнитного подвеса – одного из ключевых элементов данного геокосмического комплекса.

Ключевые слова:
магнитная левитация, магнитный подвес, высокоскоростной транспорт, вихревой ток, общепланетарное транспортное средство (ОТС).



Введение

Высокоскоростной транспортный комплекс – принципиально новый объект, требующий применения инновационных технологий опоры транспортной тележки на путевую структуру. Для его реализации необходимо разработать пару «тележка – путь», обеспечивающую движение на скоростях выше допустимого предела для пары «колесо – рельс». Рекорд скорости на рельсах принадлежит французскому экспериментальному поезду TGV и равен 575 км/ч [1]. Однако это может быть разовым случаем, поскольку на такой скорости токосъёмник соединяется с контактным проводом через электрическую дугу. Кроме того, износ оборудования исключает регулярную эксплуатацию. Пара «колесо – рельс» для железнодорожного транспорта обеспечивает экономически выгодную себестоимость движения на скоростях до 400 км/ч [2].

Дальнейшее увеличение скорости возможно благодаря левитации, в частности магнитной, так как при использовании колёс на скоростях выше 400 км/ч при длительной эксплуатации необходимы материалы (для изготовления колёс и рельсов), обладающие высоким пределом текучести и прочности. Отсутствие физического контакта в системе «тележка – путь» предполагает в качестве движителя задействовать линейный электродвигатель. Система «тележка – путь» состоит из двух подсистем: магнитного подвеса и линейного электродвигателя.

В рамках данной статьи представлен только магнитный подвес. Левитация в магнитном поле может быть реализована при помощи электромагнитов, сверхпроводящих материалов и постоянных магнитов. Электромагнитные системы предусматривают наличие мощных блоков питания и систем управления. Вариант со сверхпроводниками требует значительных затрат энергии на поддержание сверхнизкой температуры силовых магнитов. Поскольку важно наиболее энергетически выгодное решение, выбор сделан в пользу систем, функционирующих на постоянных магнитах.

Обзор литературы

В мире существует несколько технологий, обеспечивающих магнитную левитацию, при которой используется эффект вытеснения магнитного поля из сверхпроводника, а также электромагниты с обратной связью и системы на постоянных магнитах [3]. Применение электромагнитов подразумевает наличие усилителей с обратной связью. Технология требует большого количества цветных металлов. Кроме того, она весьма энергоёмка [4]. Системы, задействующие сверхпроводники, нуждаются в низкотемпературном охлаждении, что обуславливает значительный расход энергии. Ещё одним серьёзным недостатком электромагнитных и криогенных систем является их зависимость от бесперебойного энергоснабжения [5].

В результате выбран наименее сложный и энергоёмкий вариант – система на постоянных магнитах. В данном отношении особое внимание привлекли сборки Хальбаха [6]. Однако изменение ресурса магнитных систем на их базе не изучено. В настоящей статье речь идёт о магнитных системах без применения массивов Хальбаха.

Цели и задачи

Цель данной работы – исследование различных компоновок постоянных магнитов и выявление оптимальной конфигурации магнитной системы, обеспечивающей стабильную левитацию ротора в поле постоянных магнитов.

Решение задачи имеет широкий спектр применения. Приоритетное использование – подвес роторов несущей системы общепланетарного транспортного средства (ОТС) [7].

Экспериментальное определение силовой характеристики магнитного поля

- Зафиксировать экспериментально силовую характеристику магнитного поля постоянного магнита N40 ($Nd_2Fe_{14}B$) размером 40 × 20 × 5 мм (рисунок 1).
- Сравнить полученные показатели с данными математической модели аналогичной магнитной системы.

Изготовление модели подвеса

- Разработать и изготовить модель элементарного кластера магнитной системы подвеса.
- Измерить экспериментально грузоподъёмность подвеса, его поперечную и курсовую устойчивость.
- Разработать математическую модель созданного кластера и сопоставить результаты моделирования с экспериментальными данными.
- Откорректировать математическую модель с учётом расхождения значений расчётных и экспериментальных данных.

Разработка конструкции магнитного подвеса ротора ОТС, а также математической модели

- Предложить конструкцию магнитного подвеса ротора ОТС.
- Разработать математическую модель статического магнитного подвеса ротора ОТС.
- Разработать математическую модель динамического магнитного подвеса ротора ОТС.
- Рассчитать удельное тепловыделение магнитной системы подвеса.

Моделирование магнитного подвеса

Взаимодействие двух магнитов

На физической модели экспериментально получен график зависимости силового отталкивания одноимённых полюсов неодимовых магнитов от расстояния между ними. Кроме того, разработана математическая модель. На рисунке 2 визуализировано магнитное поле пары прямоугольных магнитов при отсутствии внешних воздействий. На рисунке 3 представлена суммарная силовая характеристика магнитных полей двух прямоугольных магнитов, ориентированных разноимёнными полюсами друг к другу.

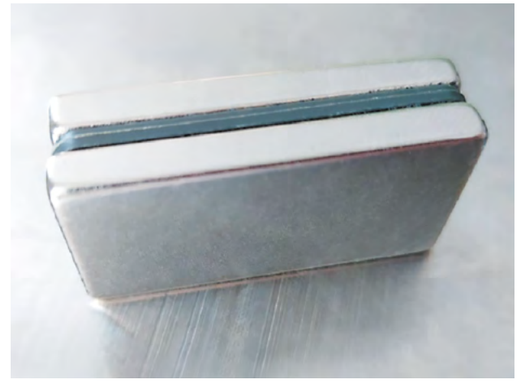


Рисунок 1 – Магниты N40 ($Nd_2Fe_{14}B$) размером 40 × 20 × 5 мм

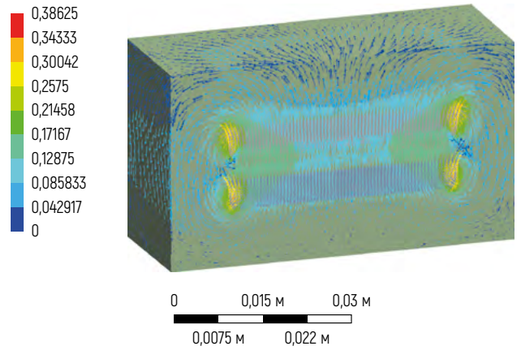


Рисунок 2 – Распределение плотности магнитного потока в системе, состоящей из двух магнитов, Тл

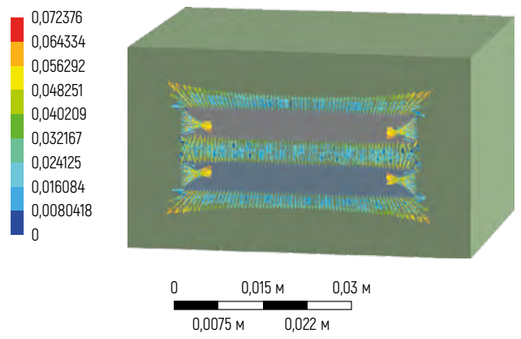


Рисунок 3 – Распределение векторов сил в системе, состоящей из двух магнитов, Н

На рисунке 4 изображены зависимости сил отталкивания между двумя прямоугольными магнитами от расстояния между ними. Результаты моделирования показаны в таблице 1.

Вывод: анализ полученных данных установил, что математическая модель достаточно точно отражает реальность. Погрешность составляет менее 5 %.

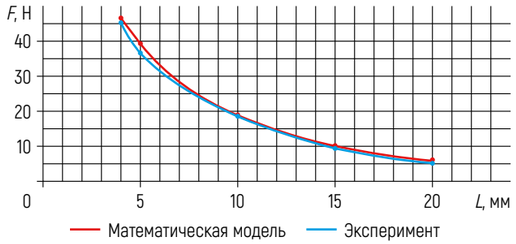


Рисунок 4 – Характеристика силового поля постоянного магнита

Таблица 1 – Характеристика силового поля постоянного магнита

Расстояние, мм	Сила, Н (стенд)	Сила, Н (модель)
4	45	47,02
5	37	39,41
10	18	18,32
15	9	10,04
20	5	6,57

Модель магнитного подвеса

Для экспериментальной проверки работоспособности магнитного подвеса разработана и изготовлена модель самостабилизирующегося элементарного кластера путевой структуры и левитирующей тележки (рисунок 5).

На рисунке 6 изображена карта распределения сил, вызванных взаимодействием магнитных полей отдельных магнитов системы.

В результате взаимного влияния полей отдельных магнитов друг на друга направления силовых линий изменились – появились зоны их слабой и сильной концентрации. На рисунке 7 красным цветом показаны области увеличения концентрации магнитного потока; синим – уменьшения.

В таблице 2 представлена информация, полученная экспериментально и при помощи компьютерного моделирования.

В строке «Физическая модель» таблицы 2 приведены показатели, выявленные экспериментально посредством настольной модели. Левитирующая часть нагружалась металлическими навесками, которые в последующем взвешивались на лабораторных весах. Боковые усилия измерялись электронным динамометром. В строке «Математическая модель» отражены результаты компьютерного моделирования в среде ANSYS 2021R1.

Вывод: экспериментально удалось воссоздать действующую пару фрагмента путевой структуры и левитирующей тележки. Расхождение данных эксперимента и математической модели составило не более 5 %.

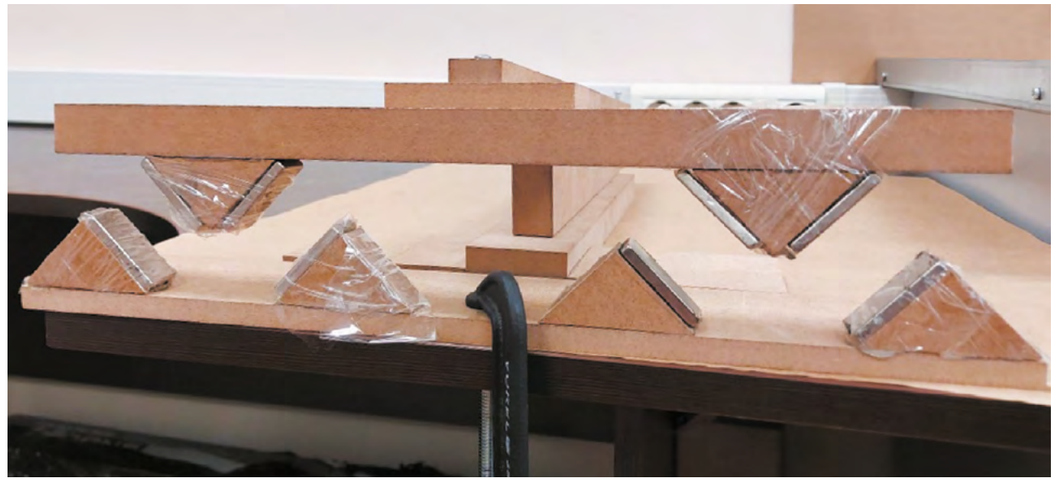


Рисунок 5 – Модель кластера путевой структуры

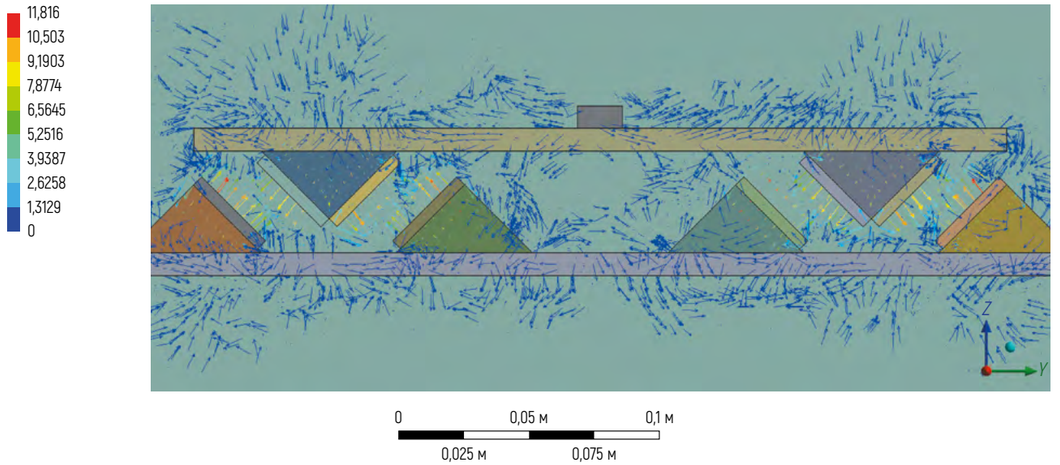


Рисунок 6 – Распределение векторов сил в магнитном кластере, Н

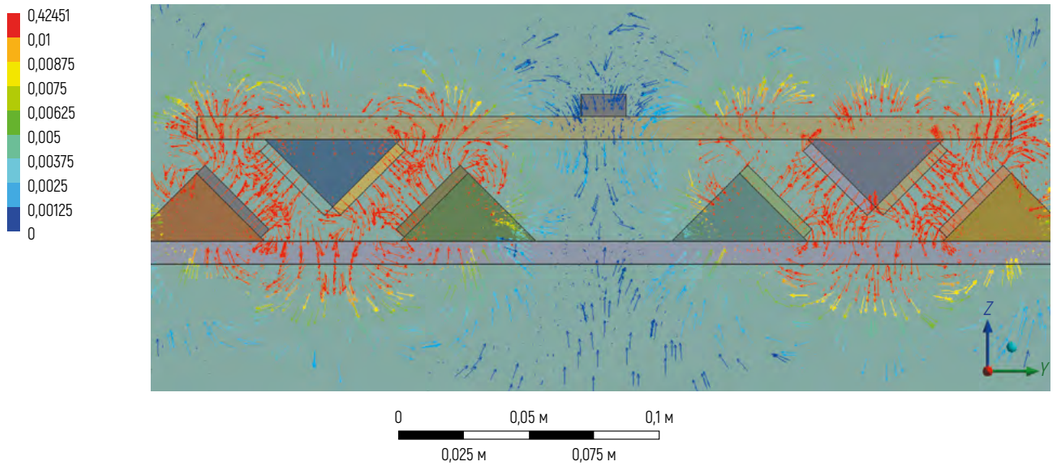


Рисунок 7 – Распределение плотности магнитного потока, Тл

Таблица 2 – Расхождение данных эксперимента и компьютерного моделирования

Объект исследования	Грузоподъёмность, г	Минимальное боковое дестабилизирующее воздействие без полезной нагрузки, кгс	Минимальное боковое дестабилизирующее воздействие с полезной нагрузкой, кгс
Физическая модель	1002	0,07	0,208
Математическая модель	1040,23	0,072	0,218
Погрешность, %	3,79	3,76	4,65

Конструкция магнитного подвеса ротора ОТС

Рассмотрен один из возможных вариантов конструкции магнитного подвеса ротора в системе постоянных магнитных полей. Поперечное сечение ротора, магнитной системы и линейных двигателей показано на рисунке 8.

На рисунке 9 представлен фрагмент ротора ОТС. Сверху и снизу расположены силовые магниты, воспринимающие подъёмную силу от маховика. Остальные магниты стабилизируют ротор и предотвращают его контакт со стенками канала. На рисунке 10 продемонстрирован фрагмент статора с элементами магнитного подвеса.

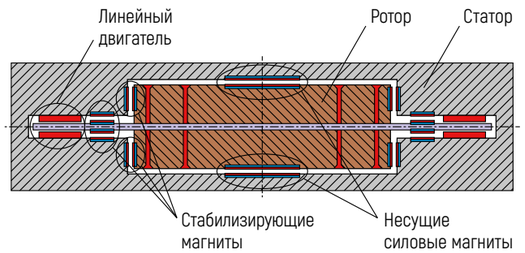


Рисунок 8 – Конструкция ротора ОТС

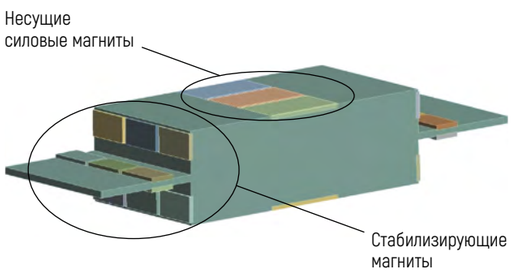


Рисунок 9 – Конструкция ротора ОТС

Расчёт грузоподъёмности магнитной системы

При расчёте задан материал ротора – сталь К76. Предел текучести – 850 Н/мм^2. На маховик со стороны магнитной системы действовали 10 отдельных сил.

На рисунке 11 схематично изображена карта сил, воспринимаемых ротором со стороны магнитов статора ОТС (цифры означают численные параметры сил в Ньютонах; цвета магнита и вызываемой им силы совпадают).

Распределение плотностей магнитных потоков в отдельном кластере магнитного подвеса представлено на рисунках 12–14.

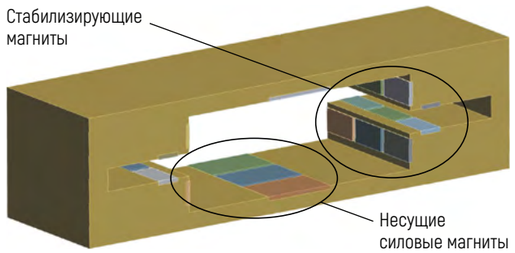


Рисунок 10 – Конструкция статора ОТС

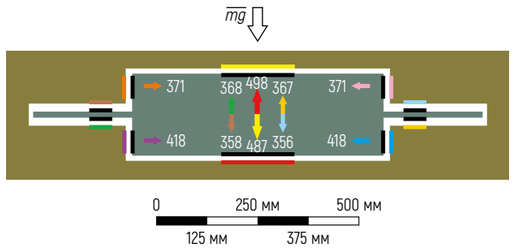


Рисунок 11 – Карта сил, воспринимаемых ротором со стороны магнитов статора ОТС, Н

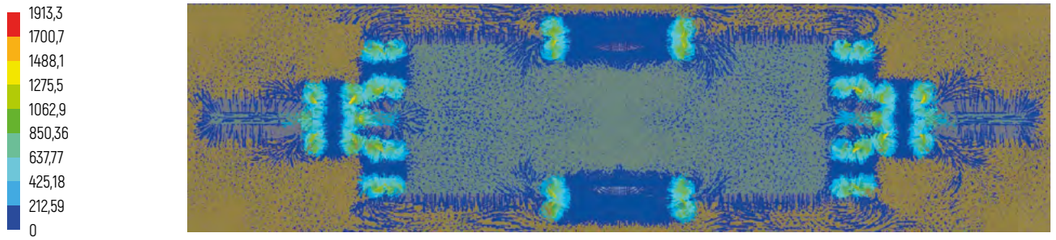


Рисунок 12 – Карта распределения магнитных потоков в подвесе (поперечный разрез), мТл

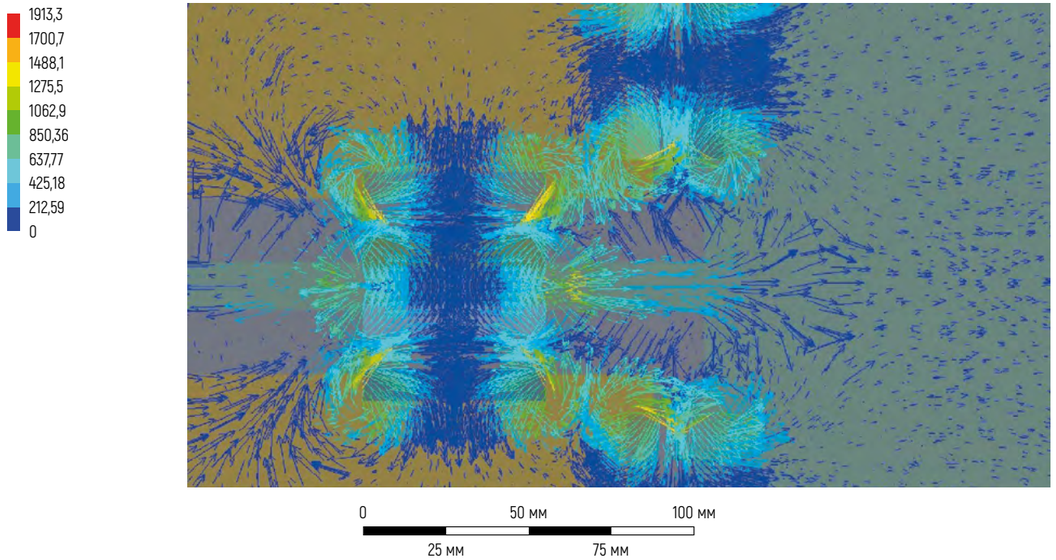


Рисунок 13 – Карта распределения магнитных потоков в стабилизирующих системах магнитов, мТл

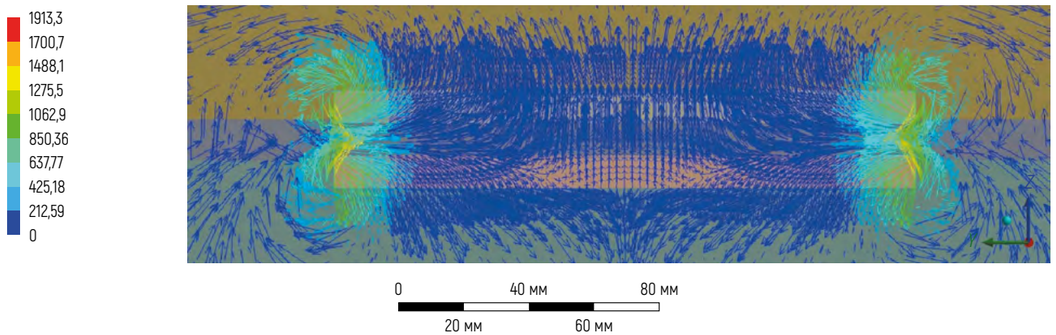


Рисунок 14 – Карта распределения магнитных потоков в несущих системах магнитов, мТл

Определена результирующая сила, действующая на ротор со стороны магнитной системы (при условии отсутствия внешних воздействий, за исключением гравитации (mg)), – равна 30 Н и направлена вверх (рисунок 15).

Удельная грузоподъёмность системы – 12 330 Н/м, или 1257 кгс/м. При удельной массе маховиков и оболочки, составляющей 250, 225 и 200 кг/м соответственно, максимальная масса полезного груза – 582 кг/м. Фактическая грузоподъёмность – 500 кг/м.

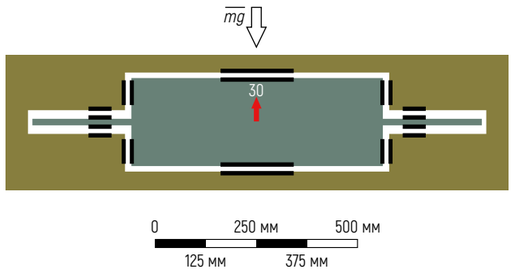


Рисунок 15 – Результирующая сила в статическом режиме, Н

Масштабная модель фрагмента магнитного подвеса

На рисунках 16, 17 изображена секция модели магнитного подвеса.

Массив секций, удерживающих магниты, представляет собой магнитный подвес (рисунок 18).

В процессе разработки модели магнитная система стабилизатора модифицирована. В модели предусмотрена возможность установки различных конфигураций и компоновок магнитов с целью выявления наиболее стабильной и наименее материалоёмкой конструкции.

Расчёт количества отводимого тепла для обеспечения рабочей температуры магнитов

При движении ротор и несущие магниты будут нагреваться от действия вихревых токов. Неодимовые магниты теряют магнитную силу при температуре выше 70 °C. Для ферритовых магнитов критической отметкой является 280 °C. Магниты Al-Ni-Co и Sm-Co работают в условиях до 550 °C и изготавливаются на основе сплава Al-Ni-Co-Fe. Преимущество магнитов Al-Ni-Co-Fe – высокая температурная стабильность (до 550 °C). Однако магниты Al-Ni-Co, Sm-Co легко размагничиваются по причине внешних воздействий, поэтому выбор остановлен на магнитах $Nd_2Fe_{14}B$.

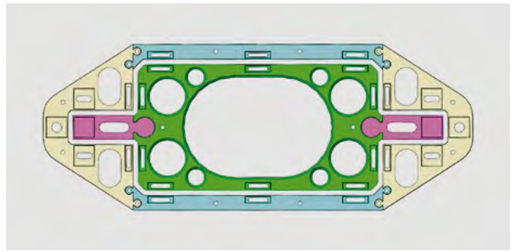


Рисунок 16 – Секция магнитного подвеса ОТС

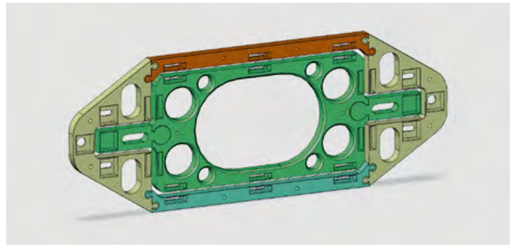


Рисунок 17 – Визуализация 3D-модели секции магнитного подвеса ОТС

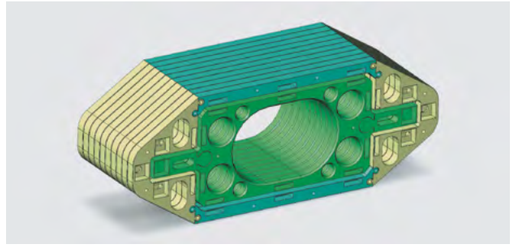


Рисунок 18 – Визуализация фрагмента магнитного подвеса ОТС

Произведён расчёт температуры статора ОТС при следующих входных данных:

- скорость ротора относительно статора – 12 000 м/с;
- размер магнита – 180 × 10 000 × 10 мм;
- тип магнитов – N40 (магнитная индукция 1250 × 10^{-3} Тл);
- материал статора – сталь электротехническая марки 3311;
- теплоёмкость материала статора – 500 Дж/(кг ·°C);
- масса статора – 200 кг/м;
- удельное электрическое сопротивление – 9,9 × 10^{-8} Ом/м;
- толщина стенки статора – 2 мм;
- зазор между магнитами ротора – 300 мм;
- зазор между магнитом ротора и статором – 10 мм;
- время движения – 6500 с.

На рисунке 19 показана диаграмма вихревых токов, наведённых в статоре ОТС движущимися магнитами ротора. Функция магнитной индукции принята соответствующей пульсирующему магнитному полю при постоянном зазоре между ротором и статором и зависящей от одной координаты значением $B(r)$:

$$d_z = B(r)\sin\omega t, \qquad (1)$$

где B – амплитудное значение индукции поля постоянных магнитов, B = 1,25 Тл;

r – период установки магнитов, м;

ω – циклическая частота, ω = 9547 рад/с;

t – время, t = 6500 с.

Данная функция принята как мера упрощения расчёта вихревого тока.

Расчёты вихревых токов проведены на базе методики, представленной и использованной в [3, 4]. Вихревые токи рассмотрены в плоскости листов сердечника статора и считаются возбуждёнными магнитным полем с заданной по (1) функцией магнитной индукции.

Тепловой нагрев статора обусловлен потерями энергии согласно закону Джоуля – Ленца. Потери энергии можно определить по формуле:

$$P_{вихр} = N\frac{1{,}64d^2f^2B^2}{A\rho_v}, \qquad (2)$$

где d – толщина стенки статора, d = 2 мм;

f – частота изменения поля, f = 1165 Гц;

B – амплитудное значение индукции поля постоянных магнитов, B = 1,25 Тл;

A – длина статора, $A = 4 \times 10^7$ м;

ρ_v – удельное объёмное сопротивление материала статора, $\rho_v = 9{,}9 \times 10^{-8}$ Ом/м;

N – число фрагментов статора, $N = A/L = 4 \times 10^6$ шт.;

L – длина изолированного фрагмента статора, L = 10 м.

Энергия потерь перейдёт в тепловую энергию. Мощность, выделившаяся в объёме статора, равна:

$$P_{вихр} = 4 \times 10^6 \frac{1{,}64 \times 0{,}002^2 \times 1165^2 \times 1{,}25^2}{4 \times 10^7 \times 9{,}9 \times 10^{-8}} = 14 \times 10^6 \text{ Дж/с}.$$

Изменение температуры статора составит 0,74 °C/с.

Вывод: движущийся со скоростью 12 км/с ротор (при отсутствии охлаждения) наведёт в статоре вихревые токи, которые будут нагревать статор на 0,74 °C за 1 с. Очевидна необходимость применения системы охлаждения. Важен поиск путей повышения эффективности системы магнитного подвеса.

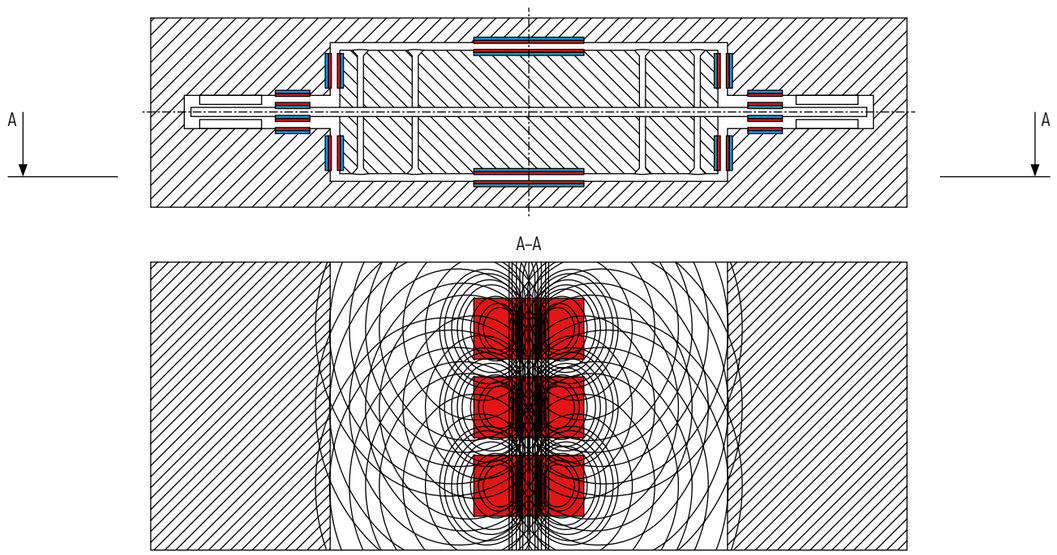


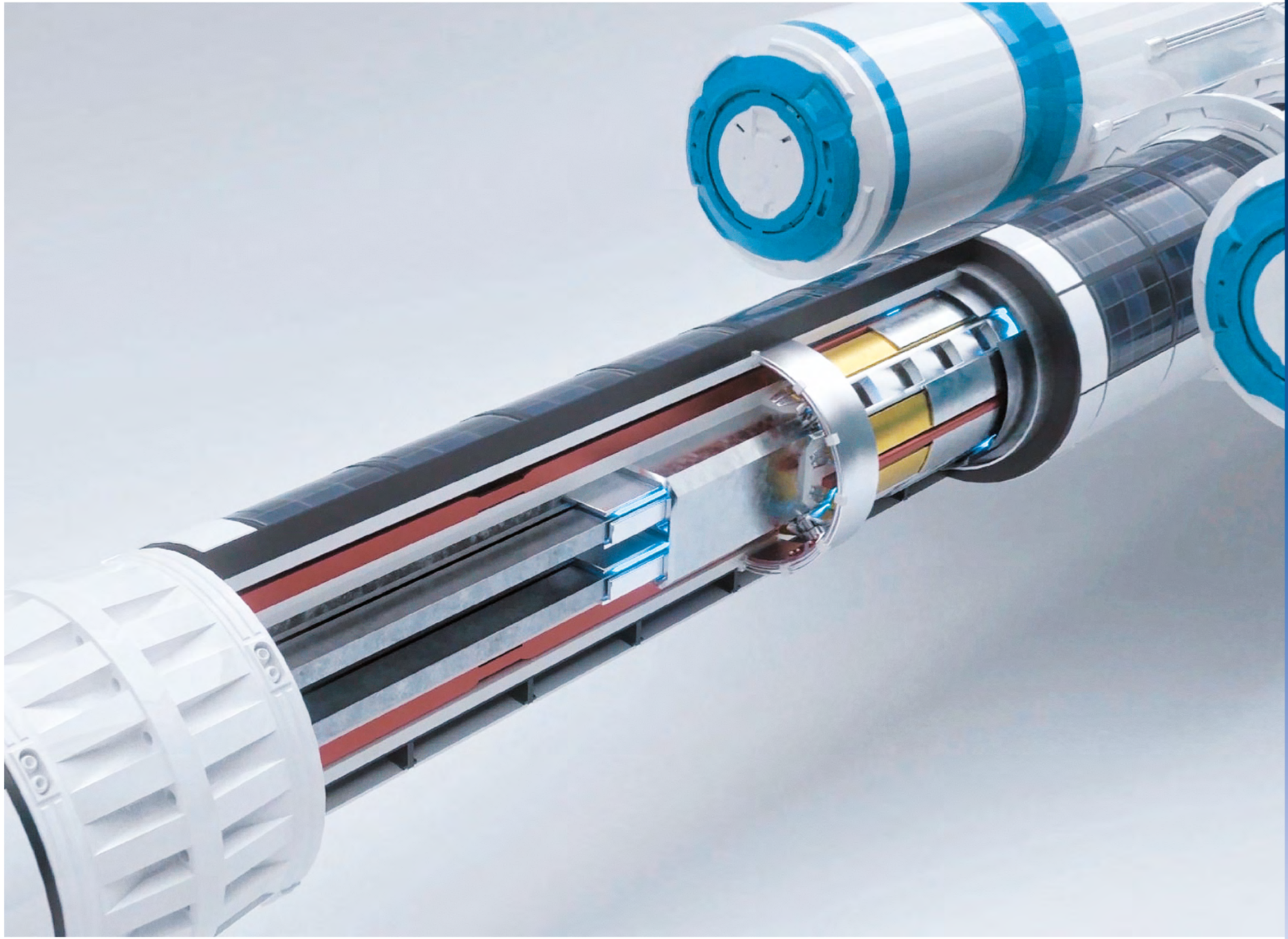
Рисунок 19 – Вихревые токи в статоре ОТС

Выводы и дальнейшие направления исследования

Одно из перспективных направлений разработок – исследование магнитных массивов Хальбаха. Использование магнитных массивов возможно в магнитном подвесе маховиков ОТС для усиления и изменения диаграммы направленности магнитного поля. На следующих этапах планируется создание масштабной физической модели фрагмента несущего магнитного подвеса и полноразмерного действующего прототипа.

Литература

1. *Запуск высокоскоростного поезда TGV-Est: «этот миф стал реальностью» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.ambafrance.org/%C3%90%E2%80%94%C3%90%C2%B0%C3%90%C2%BF%C3%91%C6%92%C3%91%C2%81%C3%90%C2%BA. – Дата доступа: 04.07.2021.*
2. *Журавлёва, Н.А. Концептуальные основы оценки эффектов от развития проектов высокоскоростных транспортных систем на основе магнитной левитации / Н.А. Журавлёва // Транспортные системы и технологии. – 2019. – Т. 5, № 1. – С. 89–102.*
3. *Данько, В.Г. Вихревые токи в низкотемпературной зоне криостата в криодвигателе постоянного тока / В.Г. Данько, В.И. Милых, А.И. Станкевич // Электричество. – 1982. – № 11. – С. 14–19.*
4. *Милых, В.И. Расчёт вихревых токов в тонкой оболочке, расположенной в двигателе постоянного тока с криогенным охлаждением / В.И. Милых // Электротехника. – 1985. – № 4. – С. 19–23.*
5. *Зайцев, А.А. Отечественная транспортная система на основе магнитной левитации / А.А. Зайцев // Бюллетень Объединённого учёного совета ОАО «РЖД». – 2015. – № 6. – С. 22–27.*
6. *Мензелеев, А.С. Применение сборки Халбаха для реализации магнитной левитации / А.С. Мензелеев, Н.А. Бруцкий-Стемпковский // Материалы 74-й студенческой науч.-техн. конф. / Белорус. нац. техн. ун-т, ф-т информ. технологий и робототехники; сост. В.А. Мартинович. – Минск: БНТУ, 2018. – С. 184–186.*
7. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.: ил.*



УДК 67.03

Возможности использования древесных экоматериалов в конструктивных элементах общепланетарного транспортного средства

Гаранин В.Н.

Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Беларусь

ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Беларусь

Уделено внимание древесине как экоматериалу, который можно задействовать на объектах, входящих в состав общепланетарного транспортного средства (ОТС). На основании литературных источников приведены возможные варианты применения древесины, а также проанализированы её характеристики по отношению к другим наиболее распространённым материалам. В качестве сравнительной оценки влияния материалов на окружающую среду предложено ввести коэффициент эконаправленности, который зависит от их свойств. Исходя из представленных критериев, показана экологическая эффективность использования древесных экоматериалов при строительстве объектов ОТС. Определены направления дальнейшего развития технологий получения на основе древесины новых материалов, позволяющих повысить эконаправленность эксплуатации ОТС в целом.

Ключевые слова:
древесина, экоматериал, эконаправленность, общепланетарное транспортное средство (ОТС), жизненный цикл, критерий оценки, биоволокно.

Введение

В связи с ростом населения Земли и, как следствие, повышением уровня потребления, приводящим к образованию большого количества отходов, сегодня остро стоит вопрос об эффективном расходовании имеющихся ресурсов при производстве продукции. Эффективность в этом случае следует рассматривать с точки зрения минимального воздействия на окружающую среду. Разработка общепланетарного транспортного средства (ОТС) не является в данном контексте исключением. При строительстве объектов ОТС применимы различные виды материалов (металлы, композиционные синтетические и керамические материалы), при использовании которых отмечается разная степень нагрузки на природу. В основе идеи реализации ОТС находится эконаправленная концепция [1], базирующаяся на суммарном снижении вредного воздействия на нашу планету на всех стадиях жизненного цикла ОТС: создания, эксплуатации и утилизации. В настоящее время эконаправленность ОТС ориентирована на эксплуатационный компонент, который предполагает задействование материалов, позволяющих снизить потребление ресурсов при функционировании объектов ОТС. В качестве примера необходимо указать на предпочтение в выборе материалов, имеющих минимальный удельный вес, а также способных выдерживать возникающие нагрузки и при этом затрачивать оптимальное количество энергии. Однако из-за акцента на эксплуатационную составляющую экологичности ОТС меньше внимания обращается на другие аспекты: эконаправленность при создании и утилизации применяемых в ОТС материалов. Снижение веса изделий для уменьшения потребляемой энергии – только часть общей эконаправленности ОТС, практически не затрагивающая утилизацию расходуемого материала и не отражающая отрицательное влияние на окружающую среду в процессе производства.

Проблема эконаправленности при реализации ОТС обусловлена обязательным использованием материалов, процесс получения которых не наносит вреда живой природе. С экологической точки зрения не рационально включение сплавов алюминия в гондолы ОТС, поскольку для получения данного химического соединения необходимы затраты большого количества ресурсов Земли (в частности, 1 кг алюминия требует около 16 кВт·ч энергии, а 1 кг стали – 9 кВт·ч). В настоящий период разрабатываются материалы, которые на стадии выпуска не оказывают неблагоприятного воздействия на экологическую обстановку. Вторичное задействование отходов является одним из примеров эконаправленности создания материалов, которые можно применять и при изготовлении объектов ОТС. Важно также отметить материалы природного происхождения: основная часть стадий их получения совершается в окружающей среде, т. е. естественным образом.

В свою очередь экологический вопрос при утилизации ОТС состоит в необходимости задействования в производственном процессе материалов, уничтожение которых не приводит к загрязнению природы. Так, большинство синтетических соединений в конструкциях ОТС способствует значительному снижению веса объектов, однако утилизация на Земле искусственных компонентов из-за недостаточного развития соответствующих технологий становится причиной образования существенного количества отходов. В данном случае выдвинутым условиям отвечают материалы, утилизируемые в среде обитания человека (кожа, натуральные ткани, древесина).

Таким образом, экоориентированность всех объектов ОТС требует серьёзного подхода к выбору материалов с учётом их полного жизненного цикла: на стадиях изготовления, эксплуатации и утилизации.

В настоящей работе прежде всего сделан акцент на обосновании оптимального сырья для создания объектов ОТС с точки зрения полной эконаправленности, позволяющей выполнить сравнительную оценку различных материалов под углом влияния на окружающую среду. Предложено обратить особое внимание на древесину и материалы на её основе, отличающиеся экологичностью от остальных продуктов (кожи, натуральных тканей, грибов) в первую очередь своими физико-механическими свойствами [2]. Благодаря подобным качествам древесина широко применяется в мебельной сфере и строительстве. Древесный экоматериал предпочтителен в конструкциях гондол ОТС, на производство которых ежегодно понадобится около 0,01 млн тонн древесины. Данная цифра определена исходя из общей массы требуемых материалов для ОТС (30 млн тонн) [3], среднего срока амортизации объектов ОТС (30 лет) и процентного соотношения количества древесины (1 %) к общему объёму материалов в ОТС. Учитывая, что ежегодный прирост древесины на Земле составляет около 6 млрд тонн [4], цифра в 0,01 млн тонн не окажет существенного влияния на масштаб вырубки леса при строительстве ОТС.

Обзор литературы

Древесина как уникальный материал вызывает интерес у многих учёных. Её с уверенностью называют экоматериалом, поскольку процессы получения и утилизации данного сырья происходят с минимальным воздействием на окружающую среду. В научных исследованиях подчёркиваются полезные характеристики древесины, которые можно расширить посредством внедрения различных технологий. В [5, 6] представлено развитие её оптических параметров, в [7] анализируется возможность придания ей магнитных свойств. Подобные особенности древесного материала образуются благодаря использованию специальных пропиток, которые, как и он сам, не должны наносить вред природе. Например, для повышения огнестойкости древесины разработан специальный спиртовой состав [8]; с его помощью снижается один из недостатков древесины – горючесть. Магнитные свойства рассматриваемого экоматериала применимы в подвесных устройствах транспортных средств ОТС в качестве элемента магнитного, магнитожидкостного подвеса или направляющей.

Как конструкционный материал древесина выделяется на фоне иных экоматериалов (кожи, натуральных тканей и др.). Её можно задействовать в роли каркаса для насыщения различными материалами [9]. Соответственно, появляется возможность получать на основе древесины новое экосырьё (древесно-минеральное и древесно-металлическое), оптимально подходящее для конструирования отдельных узлов ОТС.

Развитие современных нанотехнологий затрагивает и древесину. Данный материал рассматривается как объект аккумулирования и передачи энергии с применением биоволокон [5]. Поступает всё больше информации о полезных свойствах биоволокон древесного компонента (рисунок 1) в целях создания различных материалов [10, 11].

Древесину многие учёные уже считают не только конструкционным сырьём, но и материалом, с помощью которого можно очищать окружающую среду. Данному направлению уделено внимание в работе [12], где описаны технологии очистки воды посредством древесных волокон.

В [13] анализируется древесина в качестве проводника воды: изучены характеристики волокон, которые должны пропускать воду (аналогично движению воды в дереве от корней к листьям). Таким образом, водопроводящие особенности древесины можно учитывать при создании фильтров в ОТС для очистки и подачи жидкостей в различные комплексы, в том числе системы жизнеобеспечения.

С каждым днём используется всё больше материалов на основе древесины, однако до сих пор в их состав входит синтетическое сырьё, которое значительно ухудшает экологические свойства древесных продуктов. Так, в [14] представлена мебельная промышленность, где древесина имеет существенный спрос и её утилизация является важным этапом процесса, поскольку потребление мебели с каждым годом возрастает. При создании объектов ОТС необходимо учитывать серьёзные последствия развития мебельной отрасли: организация её вредных производств и широкое внедрение синтетических материалов привели к проблемам с окружающей средой. Для решения экологических вопросов, возникающих при создании изделий из древесины, в [15, 16] предложено в технологический процесс включать повторно древесные материалы, содержащие токсичные компоненты, тем самым уменьшая попадание вредных веществ на полигоны отходов. При этом в исследовании [17] идёт речь о применении более экологически чистых клеёв для изготовления древесных материалов.

На основании изученной информации можно сделать вывод, что создание древесных экоматериалов и их масштабное использование при строительстве ОТС будут способствовать повышению уровня экоориентированности при эксплуатации и утилизации объектов геокосмического транспортно-инфраструктурного комплекса (рисунок 2).

Рисунок 1 – Биоволокно древесины (варианты)

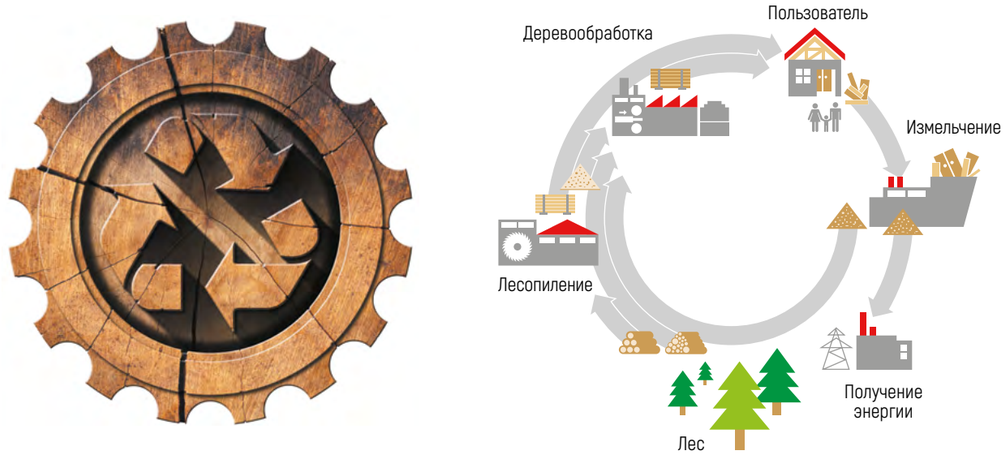


Рисунок 2 – Древесина как экоматериал при строительстве объектов ОТС

Данный подход – общемировая тенденция в развитии технологий, позволяющая в будущем рационально расходовать ресурсы для обеспечения жизни большого количества людей. Соответствующий вывод представлен в виде схемы (рисунок 3). Отметим, что на рисунке 3 дан не полный перечень экоматериалов, получаемых из древесины для использования в элементах конструкции ОТС. Систематизированы только представленные для исследования материалы. На основании изученных работ важно обратить внимание на то, что физико-механические, химические и другие свойства древесины можно значительно улучшить, тем самым расширив её применение.

Рисунок 3 – Получение экоматериалов на основе древесины

Описание метода

Экоориентированность включения различных материалов в конструктивные элементы ОТС предложено рассматривать с точки зрения создания материалов, их эксплуатации и утилизации, таким образом анализируя весь жизненный цикл объектов ОТС. Данный подход схематично показан на рисунке 4.

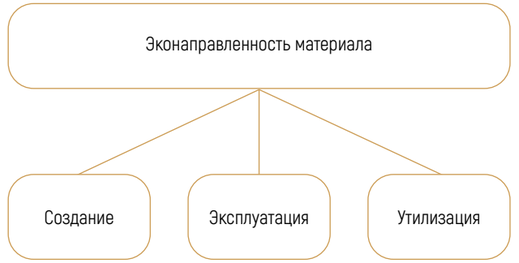
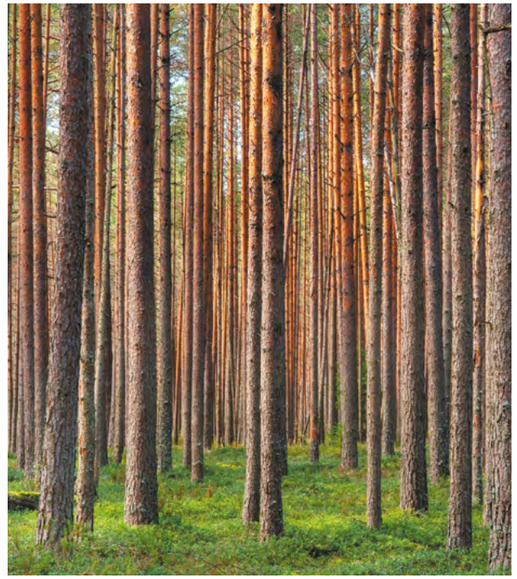


Рисунок 4 – Схема этапов жизненного цикла экоматериала



Для сравнительного анализа различного сырья применяется коэффициент эконаправленности материала (K), равный сумме коэффициентов эконаправленности материала этапов создания (K_1), эксплуатации (K_2) и утилизации (K_3), т. е. определяемый по зависимости (1):

$$K = K_1 + K_2 + K_3. \quad (1)$$

В качестве критериев оценки эконаправленности различных материалов для каждого этапа необходимо рассчитывать свой коэффициент K, зависящий от их физико-механических свойств.

Для этапа создания материалов главным критерием следует считать стоимость единицы материала, которая отражает все ресурсы, затрачиваемые на его изготовление. Коэффициент K_1 определяется по зависимости (2):

$$K_1 = \frac{C\sigma_б}{C_б\sigma}, \quad (2)$$

где C – стоимость единицы массы материала, USD;

$C_б$ – стоимость единицы массы базового материала, USD;

σ – допустимое напряжение сжатия материала, Па;

$\sigma_б$ – допустимое напряжение сжатия базового материала, Па.

Для этапа эксплуатации материала основной критерий – удельный вес материала, способного выдерживать заданные нагрузки. В качестве базовой характеристики предлагается использовать напряжение сжатия σ как параметр, влияющий на расчётные данные элементов конструкций ОТС [3]. Коэффициент K_2 определяется по зависимости (3):

$$K_2 = \frac{\gamma\sigma_б}{\gamma_б\sigma}, \quad (3)$$

где γ – удельный вес материала, кг/м^3;

$\gamma_б$ – удельный вес базового материала, кг/м^3.

Для этапа утилизации критерий оценки эконаправленности – стоимость доведения сырья до состояния исходного материала (разница стоимости материала и вторичного сырья), а также время эксплуатации изделия. Коэффициент K_3 определяется по зависимости (4):

$$K_3 = \frac{(C - C_с)T_б}{(C_б - C_{с.б.})T}, \quad (4)$$

где $C_с$ – стоимость вторичного сырья для материала, USD;

$C_{с.б.}$ – стоимость вторичного сырья для базового материала, USD;

T – срок службы материала, лет;

$T_б$ – срок службы базового материала, лет.

Указанные коэффициенты будут характеризовать степень экологичности сырья, квалифицируя его влияние на окружающую среду: чем выше коэффициент, тем большее воздействие на природу оказывает материал.

Результаты и анализ

Автором изучены несколько наиболее распространённых материалов (древесина, сталь, сплав алюминия, бетон, стекло и композиционный материал (стеклопластик)), которые имеют показатели, позволяющие оценить только их относительные характеристики (таблица).

В качестве базового сырья принята древесина как ключевой объект настоящего исследования. Входные параметры на основании открытых источников могут варьироваться. Однако главная цель работы – рассмотреть методику сравнения и оценить эконаправленность материалов на разных стадиях жизненного цикла изделий ОТС.

Таблица – Сравнительные данные по материалам

Материал / Характеристика	Древесина	Сталь	Сплав алюминия	Бетон (М300)	Стекло	Стеклопластик
Стоимость 1 кг, USD	1,2	4	4,4	1,2	0,8	2,8
Допустимое напряжение сжатия, МПа	10	160	40	25	25	65
Удельный вес, кг/м^3	500	7800	2700	2400	2500	1800
Срок службы изделия, лет	25	50	50	50	40	30
Стоимость 1 кг сырья, USD	0,6	0,24	1	0,4	0,2	0,75
Создание (K_1)	1	0,21	0,92	0,4	0,27	0,36
Эксплуатация (K_2)	1	0,98	1,35	1,92	2	0,55
Утилизация (K_3)	1	3,13	2,83	0,67	0,62	2,85
K	3	4,32	5,1	2,99	2,89	3,76

Выводы и дальнейшие направления исследования

Данные, представленные в таблице, показывают, что схожие коэффициенты эконаправленности имеют бетон, древесина и стекло, которые, как подтверждают предлагаемые критерии оценки, минимально воздействуют на окружающую среду.

Ключевой вывод работы: в объектах ОТС древесный экоматериал может использоваться для разных целей (не только в качестве конструкционного материала); его применение в то же время эффективно с точки зрения минимального воздействия на экологию, что соответствует общей концепции создания ОТС. Не следует забывать и о безопасности эксплуатации древесного экоматериала. Анализ исследований демонстрирует, что и в этом аспекте достигаются хорошие результаты благодаря широким возможностям изменять свойства древесины.

Таким образом, дальнейшее развитие направления задействования древесного экоматериала при строительстве объектов ОТС стоит рассматривать в ключе создания новых материалов. Обладая уникальными показателями, они позволят значительно повысить эконаправленность и тем самым снизить нагрузку на окружающую среду при возведении объектов ОТС.

Литература

1. *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. / Астроинженерные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 139–143.*
2. *Боровиков, А.М. Справочник по древесине / А.М. Боровиков, Б.Н. Уголев; под ред. Б.Н. Уголева. – М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 296 с.*
3. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.: ил.*
4. *Годовой прирост леса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ru-ecology.info. – Дата доступа: 23.07.2021.*
5. *Wood-Derived Materials for Green Electronics, Biological Devices and Energy Applications / Z. Hongli [et al.] // Chemical Reviews. – 2016. – No. 116. – P. 9305–9374.*
6. *Transparent Wood for Functional and Structural Applications / Y. Li [et al.] // Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. – 2018. – Vol. 376, No. 2112. – P. 1–15.*
7. *Hybrid Wood Materials with Magnetic Anisotropy Dictated by the Hierarchical Cell Structure / V. Merk [et al.] // ACS Applied Materials & Interfaces. – 2014. – Vol. 6, No. 12. – P. 9760–9767.*
8. *Lande, S. Eco-Efficient Wood Protection Furfurylated Wood as Alternative to Traditional Wood Preservation / S. Lande, M. Westin, M.H. Schneider // Management of Environmental. – 2004. – Vol. 15, No. 5. – P. 529–540.*
9. *Berglund, L.A. Bioinspired Wood Nanotechnology for Functional Materials / L.A. Berglund, I. Burgert // Advanced Materials. – 2018. – Vol. 30, No. 19. – 1704285.*
10. *Bledzki, A.K. Cars from Renewable Materials / A.K. Bledzki, O. Faruk, A. Jaszkiewicz // Polish Society of Composite Materials. Kompozyty. – 2010. – Vol. 10, No. 3. – P. 282–288.*
11. *Balatinecz, J. Cars Made of Wood and Hemp Fibres? Why Not? / J. Balatinecz, M. Sain // Forestry Chronicle. – 2007. – Vol. 83, No. 4. – P. 482–484.*
12. *Saeed, A. Removal and Recovery of Heavy Metals from Aqueous Solution Using Papaya Wood as a New Biosorbent / A. Saeed, M.W. Akhter, M. Iqbal // Separation and Purification Technology. – 2005. – Vol. 45, No. 1. – P. 25–31.*
13. *Wood-Derived Hybrid Scaffold with Highly Anisotropic Features on Mechanics and Liquid Transport Toward Cell Migration and Alignment / J. Liu [et al.] // ACS Applied Materials & Interfaces. – 2020. – Vol. 12, No. 15. – P. 17957–17966.*
14. *Çınar, H. Eco-Design and Furniture: Environmental Impacts of Wood-Based Panels, Surface and Edge Finishes / H. Çınar // Forest Products Journal. – Vol. 55, No. 11. – P. 27–33.*
15. *Ashori, A. Characteristics of Wood-Fiber Plastic Composites Made of Recycled Materials / A. Ashori, A. Nourbakhsh // Waste Management. – 2009. – Vol. 29, No. 4. – P. 1291–1295.*
16. *Ihnát, V. Waste Agglomerated Wood Materials as a Secondary Raw Material for Chipboards and Fibreboards. Part I. Preparation and Characterization of Wood Chips in Terms of Their Reuse / V. Ihnát, H. Lübke, A. Russ // Wood Research. – 2017. – Vol. 62, No. 1. – P. 45–56.*
17. *Pizzi, A. Recent Developments in Eco-Efficient Bio-Based Adhesives for Wood Bonding: Opportunities and Issues / A. Pizzi // Journal of Adhesion Science and Technology. – 2006. – Vol. 20, No. 8. – P. 829–846.*

УДК 624.21.037:621.763

Композиционные материалы и технологии для изготовления конструктивных элементов эстакады общепланетарного транспортного средства

Шаповалов В.М.[1]
Бочкарёв Д.И.[2, 3,]
Подобед Д.Л.[4]

[1] Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси, г. Гомель, Беларусь

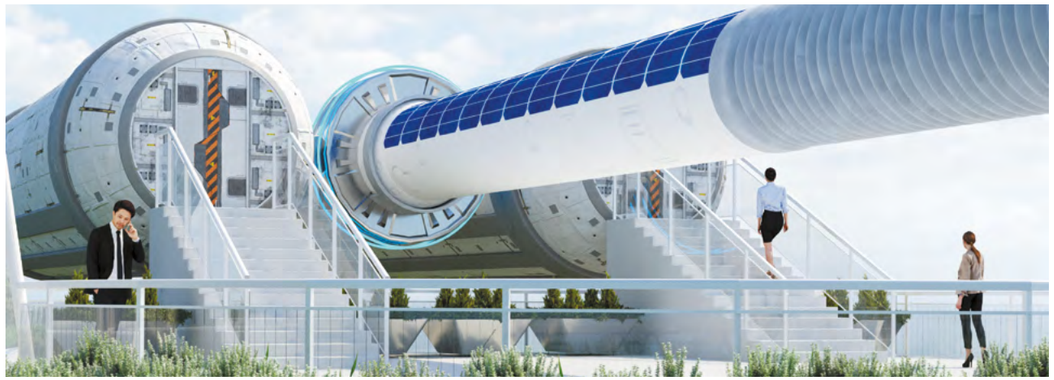
[2] Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, Беларусь

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

[4] Гомельский филиал Университета гражданской защиты МЧС Беларуси, г. Гомель, Беларусь

Рассмотрены экструзионные технологии получения конструктивных элементов большой протяжённости, применение которых возможно при возведении эстакады общепланетарного транспортного средства (ОТС). Проанализировано влияние технологических и конструктивных факторов на физико-механические свойства используемых композиционных материалов.

Ключевые слова:
экструзия, композиционный материал, термопластичный полимер, наполнитель, физико-механические свойства.



Введение

Масштаб строительства эстакады общепланетарного транспортного средства (ОТС), охватывающей Землю в экваториальной плоскости, требует внедрения предельно эффективных технологических процессов, обеспечивающих высокое качество, оптимальную себестоимость и максимальную производительность. Общая протяжённость эстакады ОТС составляет 40 076 км, из которых примерно 20 % длины – сухопутные участки, 80 % – морские [1, 2].

При изготовлении несущих конструкций эстакады ОТС необходимо применение материалов, обладающих особо высокими физико-механическими характеристиками. Данное условие представляется одним из ключевых, поскольку эстакада, состоящая из различных конструктивных элементов, объединённых в предварительно напряжённую несущую конструкцию, в процессе эксплуатации должна выполнять функции пролётного строения и рельсового пути для движения транспортных средств на всех режимах работы, а также воспринимать вертикальные, продольные и поперечные нагрузки и передавать их на опоры через опорные узлы и узлы анкерения [1, 2].

Для изготовления вспомогательных конструктивных элементов эстакады (кабельных каналов, технологических трубопроводов, оболочек для инженерных сетей и т. д.) перспективно задействовать конструкционные материалы общего назначения, среди которых особый интерес представляют пластмассы и композиционные материалы. Их основные преимущества перед традиционными материалами, применяемыми в строительстве транспортных объектов (сталью и бетоном): меньшая плотность и, как следствие, меньшая масса конструкции; высокая коррозионная стойкость; возможность максимального употребления вторичных ресурсов при производстве; низкая себестоимость.

При этом для производства элементов из пластмасс и композиционных материалов, имеющих значительную протяжённость, наиболее эффективно внедрение экструзии, которая обеспечивает непрерывность изготовления, максимальную производительность, высокий коэффициент использования материала и постоянство размеров поперечного сечения.

Методика исследования

Одним из перспективных путей в данном направлении является создание композиционных материалов на основе термопластичных полимеров и гибридных наполнителей, в частности сочетание минеральных и органических частиц с разным размерным уровнем [3–6]. Подобный подход позволяет разрабатывать новые композиционные материалы и изделия с определённым требуемым комплексом свойств. Так, сочетание мелкодисперсных отходов древесины и минеральных наполнителей обеспечивает условия для формирования однородной структуры материала, благодаря чему композит обретает высокие прочностные свойства.

Древесина обладает более развитой поверхностью и капиллярно-пористой системой даже по сравнению с такими перспективными минеральными наполнителями, как пористые перлиты, обсидианы, аглопориты. Применение древесных материалов даёт возможность достигать высоких (до 85 % по объёму) степеней наполнения при сохранении технологических свойств, в то время как у минеральных наполнителей уже при степени наполнения 30 % по массе (15–20 % по объёму) свойства композитов снижаются, а их перерабатываемость ухудшается. При низких же степенях наполнения (до 20 % по массе) экономия полимера перекрывается затратами на обработку наполнителя и приготовление композиции.

Указанные преимущества обусловлены тем, что древесина, будучи природным полимерным композитом, характеризуется практически 100-процентной совместимостью с полимерами (в отличие от минеральных веществ); её органическая природа обеспечивает близость коэффициентов термического расширения с аналогичным показателем связующего, что приводит к дополнительному эффекту упрочнения в результате снижения термонапряжений. В случае же использования минеральных порошков жидкая фаза связующего распределяется по поверхности тонкими плёнками, которые затем переходят в твёрдое аморфное состояние. Данный процесс сопровождается повышением плотности и резким уменьшением объёма, что влечет за собой появление внутренних напряжений, достигающих при определённых условиях 30–45 МПа. При этом напряжение тем сильнее, чем выше поверхностная энергия наполнителя, его жёсткость и жёсткость полимерного связующего.

Наличие в макромолекулах древесного вещества реакционноспособных групп содействует осуществлению взаимодействия древесины со связующим, что обуславливает широкое её химическое модифицирование. Прочные (однако менее твёрдые, чем у полимеров) древесные волокна значительно снижают износ оборудования, проявляющийся при переработке высоконаполненных полимеров, и в меньшей степени подвергаются разрушению благодаря своей хорошей деформативности [7, 8]. В то же время сочетание древесных и минеральных частиц позволяет формировать композиты с повышенными эксплуатационными свойствами. Предельно эффективное их сочетание находится в интервале 1 : (0,25 ÷ 0,5). Увеличение содержания дисперсных частиц в композите приводит к снижению свойств (в особенности прочностных), что связано с возрастанием поверхностной площади частиц наполнителя, требующей повышенного расхода связующего. Рациональное содержание дисперсных наполнителей (гидролизного лигнина, шлифовальной пыли и мелкодисперсной резины, α-фосфополугидрата сульфата кальция, золы-уноса, бентонита) составляет порядка 8–20 масс. %. Кроме того, перспективно применение волокнистых наполнителей (стекловолокна, кордных нитей) при изготовлении композитов, что придаёт последним ударопрочность и стойкость к растрескиванию.

Результаты и анализ

Механизм повышения прочностных характеристик композитов обусловлен, с одной стороны, армирующим действием крупнодисперсных частиц в макрообъёмах композита, с другой – более плотной и упорядоченной упаковкой частиц наполнителя в композите (таблица). Есть вероятность, что подобный подход также способствует структурному модифицированию полимера минеральным наполнителем в локальных микрообъёмах полимерной прослойки, что обеспечивает увеличение скорости кристаллизации связующего в зоне межчастичного взаимодействия.

Применение в композите дисперсных добавок позволяет усилить термостабильность композита в процессе переработки, в особенности характерную для композитов с α-фосфополугидратом сульфата кальция и бентонитом. Это подтверждают сведения о потере массы исследуемых композиций на графиках, полученных с помощью дериватографов (рисунок 1). Их анализ показывает, что начало температуры падения массы в композиции с дисперсной добавкой смещается с 170 °С до 290 °С.

Таблица – Плотность композитов с комбинированными наполнителями

Композиты*	Плотность, кг/м^3
ИД + ПВХ + ПП	1100/990
ИД + ЗУ + ПП	1240
ИД + ФГ + ПВХ	1300
ИД + ШП + ПВХ	1240
ИД + МР + ПВХ	1150

* ИД – измельчённая древесина; ПВХ – поливинилхлорид; ПП – полипропилен; ЗУ – зола-унос; ФГ – α-фосфополугидрат сульфата кальция; ШП – шлифовальнаяпыль; МР – мелкодисперсная резина.

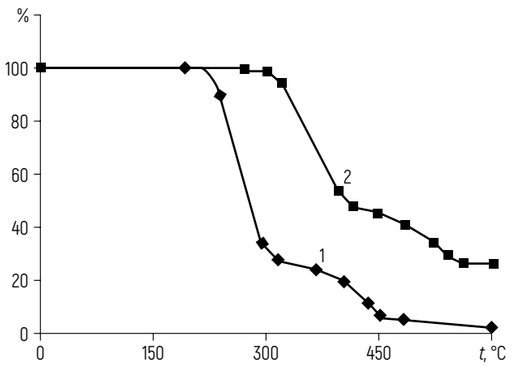


Рисунок 1 – Кривые дериватографа: 1 – для композитов чистых; 2 – с α-фосфополугидратом сульфата кальция

Кроме того, указанные добавки в сочетании с антипиреновыми добавками способствуют улучшению огнестойкости получаемого материала [9].

Предварительно проведённые эксперименты показали, что переработка высоконаполненных древесно-полимерных композиций методом экструзии затруднена из-за их предельного уплотнения в экструзионном винтовом канале, приводящего к резкому повышению сил трения по контактным поверхностям формующих органов и внутреннего межчастичного трения. При этом наблюдается снижение адгезионного контакта между древесиной и полимером, что свойственно композитам на основе ПВХ. Вместе с тем при формировании объёмных профильных изделий выбор в пользу ПВХ продиктован отличной формоустойчивостью и высоким уровнем физико-механических свойств в композитной системе. Одним из важнейших, но малоизученных аспектов при образовании таких композитов являются триботехнологические особенности экструзионной переработки. Следовательно, чрезвычайно важно учитывать обозначенные процессы непосредственно на границе раздела «древесина – термопласт», что даёт возможность направленно регулировать фрикционные и реологические свойства в древесно-полимерной системе. Данное требование представляется обязательным условием стабильного процесса экструзии высоконаполненных композитов. Очевидно также, что для решения указанной задачи необходима совокупность технологических приёмов, реализующая как трибореологические, так и структурные характеристики при экструзионном формировании древесно-полимерных систем.

Установлено, что пластификация древесных и полимерных граничных слоёв в системе «связующее – наполнитель» достигается вследствие перераспределения предварительно введённого в древесные частицы пластифицирующего вещества. Эффект перераспределения обусловлен воздействием силовых и температурных полей в процессе экструзии. Анализ экспериментальных исследований даёт возможность сделать вывод об эффективности модифицирования древесных частиц сложными эфирами ортофталевой кислоты [10].

Показано, что эффективность применения сложных эфиров ортофталевой кислоты определена их пластифицирующим действием на древесину в приграничном слое в композиции с ПВХ. В результате при движении смеси в экструзионном винтовом канале снижаются энергетические затраты на уплотнение древесины без разрушения её структуры, чему способствует уменьшение усилия уплотнения пластифицированной древесины по отношению к натуральной, достигающее 30 %.

По результатам экспериментальных исследований, проведённых в Государственном научном учреждении «Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси» (ИММС НАН Беларуси), разработана технология получения погонажных изделий методом червячной экструзии. Благодаря органической природе и хорошей совместимости с полимерами древесные волокна содействуют достижению в композитах высоких показателей по степени наполнения (до 70–75 % по массе), а следовательно, и соответствующих эксплуатационных свойств.

Широкие технические возможности разработанной в ИММС НАН Беларуси технологии [10–12] позволяют получить различные как по форме профиля, так и по назначению изделия (рисунок 2).

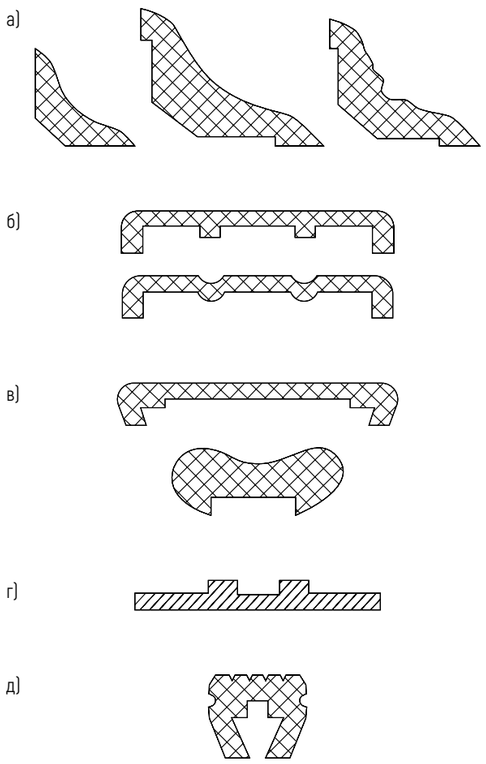


Рисунок 2 – Типовые конструкции
древесно-полимерных погонажных изделий:
а – плинтусы; б – наличники; в – поручни;
г – направляющая скребкового конвейера;
д – опора скольжения безроликового ленточного конвейера

Выводы и дальнейшие направления исследования

Учитывая вышеизложенное, можно предложить высокопроизводительный способ изготовления конструктивных элементов большой протяжённости для эстакады ОТС. Основой данного приёма является формообразование элементов посредством экструзии; в качестве необходимых материалов задействована широкая группа композитов, содержащих термопластичные полимеры и гибридные наполнители (минеральные и органические частицы), физико-механические свойства которых эффективно регулируются посредством технологических режимов экструдирования и введения целевых добавок. В совокупности описанный метод способен обеспечить оптимальное сочетание эксплуатационных свойств и экономических показателей при применении в составе протяжённых конструктивных элементов такого сложного объекта, как эстакада ОТС.

Литература

1. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Минск: Беларуская навука, 2017. – 342 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.: ил.*
3. *Ксантос, М. Функциональные наполнители для пластмасс / М. Ксантос; пер. с англ. под ред. В.Н. Кулезнева. – СПб.: Науч. основы и технологии, 2010. – 462 с.*
4. *Кондратюк, А.А. Исследование влияния количества наполнителя на механические характеристики композиционных полимеров / А.А. Кондратюк, С.В. Матренин, О.Ю. Недосекова // Известия вузов. Физика. – 2014. – Т. 57, № 9 (3). – С. 98–102.*
5. *Шутова, Е.А. Физическое модифицирование композиционных материалов на основе вторичных термопластичных полимеров / Е.А. Шутова, В.М. Шаповалов // Горная механика и машиностроение. – 2018. – № 3. – С. 79–85.*
6. *Клинков, А.С. Утилизация и вторичная переработка полимерных материалов: учеб. пособие / А.С. Клинков, М.В. Соколов, П.С. Беляев. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2005. – 80 с.*
7. *Наполнители для полимерных материалов: справ. пособие / пер. с англ.; под ред. П.Г. Бабаевского. – М.: Химия, 1981. – 738 с.*
8. *Купчинов, Б.И. Технология конструкционных материалов и изделий на основе измельчённых отходов древесины / Б.И. Купчинов, Н.В. Немогай, С.Ф. Мельников. – Минск: Наука и техника, 1992. – 199 с.*
9. *Бобрышева, С.Н. Применение метода дисперсионного анализа однофакторной математической модели для оптимизации состава полимеров с пониженной горючестью / С.Н. Бобрышева, Л.И. Буякевич, Д.Л. Подобед // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2019. – № 3 (78). – С. 45–51.*
10. *Шаповалов, В.М. Разработка высоконаполненных композитов на основе термопластов и измельчённой древесины для переработки методом экструзии в изделия машиностроительного назначения: автореф. дис. … д-ра техн. наук: 05.16.09, 05.17.06 / В.М. Шаповалов; ИММС НАН Беларуси. – Гомель, 2005. – 4 с.*
11. *Шаповалов, В.М. Технология переработки высоконаполненных композитов / В.М. Шаповалов, В.Г. Барсуков, Б.И. Купчинов; под ред. Ю.М. Плескачевского. – Гомель: ИММС НАН Беларуси, 2000. – 60 с.*
12. *Шаповалов, В.М. Технология полимерных и полимерсодержащих строительных материалов и изделий / В.М. Шаповалов. – Минск: Беларуская навука, 2010. – 454 с.*

УДК 624.21.037:620.179.1

Инновационные технологии неразрушающего контроля и технической диагностики рельсов эстакады общепланетарного транспортного средства

Сергиенко В.П.[1]
Бухаров С.Н.[1]
Кожушко В.В.[1]
Бочкарёв Д.И.[2, 3]

[1] Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси, г. Гомель, Беларусь

[2] Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, Беларусь

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

Рассмотрены два подхода решения задач неразрушающего контроля и диагностики рельсов эстакады общепланетарного транспортного средства (ОТС). Для локализации нарушений сплошности поверхности корпусных элементов рельсов предложен улучшенный ультразвуковой способ, объединяющий лазерное возбуждение зондирующих импульсов и их бесконтактную регистрацию с помощью электромагнитных акустических преобразователей. В ходе работы сделан вывод: диагностика качественных изменений состояния непосредственно головки (поверхности катания) рельсовых структур, набранной из ленточных элементов (полос), более эффективна при применении технологий, основанных на использовании виброакустических методов.

Ключевые слова:
лазерный ультразвук, оптоакустика, бесконтактные методы контроля, виброакустика.

Введение

Стартовая эстакада общепланетарного транспортного средства (ОТС) является взлётно-посадочным, энергетическим и коммуникационным узлом для геокосмических перевозок.

Элементы эстакады (например, рельсо-струнная путевая структура Струнного транспорта Юницкого (ЮСТ; англ. – uST) и сеть uNet [1]) используются для функционирования ОТС: обеспечения электрической подзарядки, комплектации пассажирами и грузом, взлёта, приземления, разгрузки, передачи космической продукции и накопленной в космосе солнечной энергии, обслуживания и ремонта.

Кроме того, в зоне эстакады размещаются следующие транспортно-инфраструктурные элементы сети uNet:

- гиперскоростной комплекс в форвакуумном канале (скорость до 1500 км/ч);
- высокоскоростной комплекс (скорость до 600 км/ч);
- городской комплекс (скорость до 150 км/ч);
- линии электропередач;
- линии связи.

Высокие требования к надёжности, долговечности и безопасности эстакады ОТС, а также рельсов, инженерных сетей и других её конструктивных элементов выдвигают соответствующие условия к применению эффективных методов контроля и диагностических средств, позволяющих с максимальной точностью выполнять поиск и идентификацию возможных дефектов.

Общая протяжённость эстакады ОТС, охватывающей Землю в экваториальной плоскости, составляет 40 076 км, из которых примерно 20 % длины – сухопутные участки, 80 % – морские [1, 2]. Следовательно, особенно актуальным является внедрение методов диагностики, способствующих реализации непрерывного бесконтактного дистанционного поиска дефектов и повреждений.

Важность выбора и внедрения эффективной системы диагностики определяется в том числе конструктивными решениями эстакады ОТС, состоящей из различных элементов, объединённых в целостную предварительно напряжённую несущую конструкцию, которая в процессе эксплуатации выполняет функции пролётного строения и рельсового пути для движения транспортных средств на всех режимах работы, а также воспринимает вертикальные, продольные и поперечные нагрузки и передаёт их на опоры через опорные узлы и узлы анкерения [1, 2].

Методика исследования

Протяжённая геометрия корпусных элементов струнных рельсов позволяет возбуждать в них стержневые моды, т. е. упругие волны определённой частоты, распространяющиеся на значительные расстояния от источника. Регистрация таких волн возможна набором преобразователей, расположенных вдоль длинномерного изделия на заданной дистанции. Регистрируемые сигналы содержат информацию о наличии структурных дефектов в материале, его однородности, зарождающихся разрушениях, трещинах и др.

Одним из наиболее быстро развивающихся направлений улучшенного неразрушающего контроля является лазерный ультразвук. Возбуждение зондирующих ультразвуковых импульсов происходит вследствие поглощения энергии лазерного импульса наносекундной длительности. Коэффициент поглощения металлов в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне составляет более 10^4 $см^{-1}$. В результате глубина проникновения излучения ограничена десятками нанометров. Энергия лазера преобразуется в тепло, диффузия которого за время лазерного импульса достигает приблизительно 1 мкм. Тепловое расширение тонкого приповерхностного слоя возбуждает объёмные, а в случае фокусировки – поверхностные акустические импульсы. Особенность возбуждаемых лазером ультразвуковых импульсов заключается в форме с выраженной фазой сжатия и широкой полосой частот, охватывающих более двух декад с верхней границей, превышающей 50 МГц [3]. Такая ширина полосы частот позволяет обнаруживать неоднородности, в том числе зарождающиеся трещины размером более 50 мкм в продольном направлении. Регистрация ультразвуковых импульсов возможна традиционными контактными методами с применением пьезоэлектрических преобразователей. В то же время существенный недостаток указанных преобразователей связан с необходимостью обеспечения акустического контакта с объектом контроля, для чего используются слои жидкости или геля, толщину которых сложно контролировать. Одновременно с этим известны оптические методы, в которых применяются отдельные лазерные источники, гарантирующие бесконтактную регистрацию ультразвука в широкой полосе частот [4, 5]. Недостатком подобных решений является высокая стоимость и сложность монтажа системы, компенсируемая в рассматриваемом случае высокой стоимостью и ответственностью объекта контроля.

Результаты и анализ

Исходя из конструктивных особенностей рельсов, головка (поверхность катания) которых в одном из вариантов исполнения состоит из набранных в блок вертикально ориентированных ленточных элементов (полос), установленных на рёбра в корпусе, внедрение ультразвуковых методов контроля (в том числе лазерных) возможно только непосредственно для корпусных элементов, имеющих большую протяжённость.

С учётом вышеизложенного для диагностики корпусных элементов рельсов в настоящее время разработаны методы регистрации, применяющие усовершенствованные электромагнитные акустические преобразователи, чувствительные к переменному электромагнитному полю, которое возникает в ферромагнитных материалах в результате магнитострикционного эффекта [6–8].

Преимуществом данного метода является простота, относительно невысокая стоимость и хорошая информативность для решения задач бесконтактного неразрушающего контроля и диагностики.

Одновременно с этим для диагностики головки рельса, набранной из ленточных элементов, представляет интерес контроль уровня шума при движении транспортных средств – путём использования многоканальной системы сбора и анализа виброакустических сигналов с реализацией узкополосной спектральной обработки на основе быстрого преобразования Фурье (БПФ-анализ), а также вибрации – с помощью виброизмерительной аппаратуры (акселерометров). Акселерометр устанавливается непосредственно в транспортных средствах и осуществляет непрерывные бесконтактные измерения при взаимодействии их колёс с объектами контроля.

Виброизмерительная аппаратура обеспечивает следующие параметры:

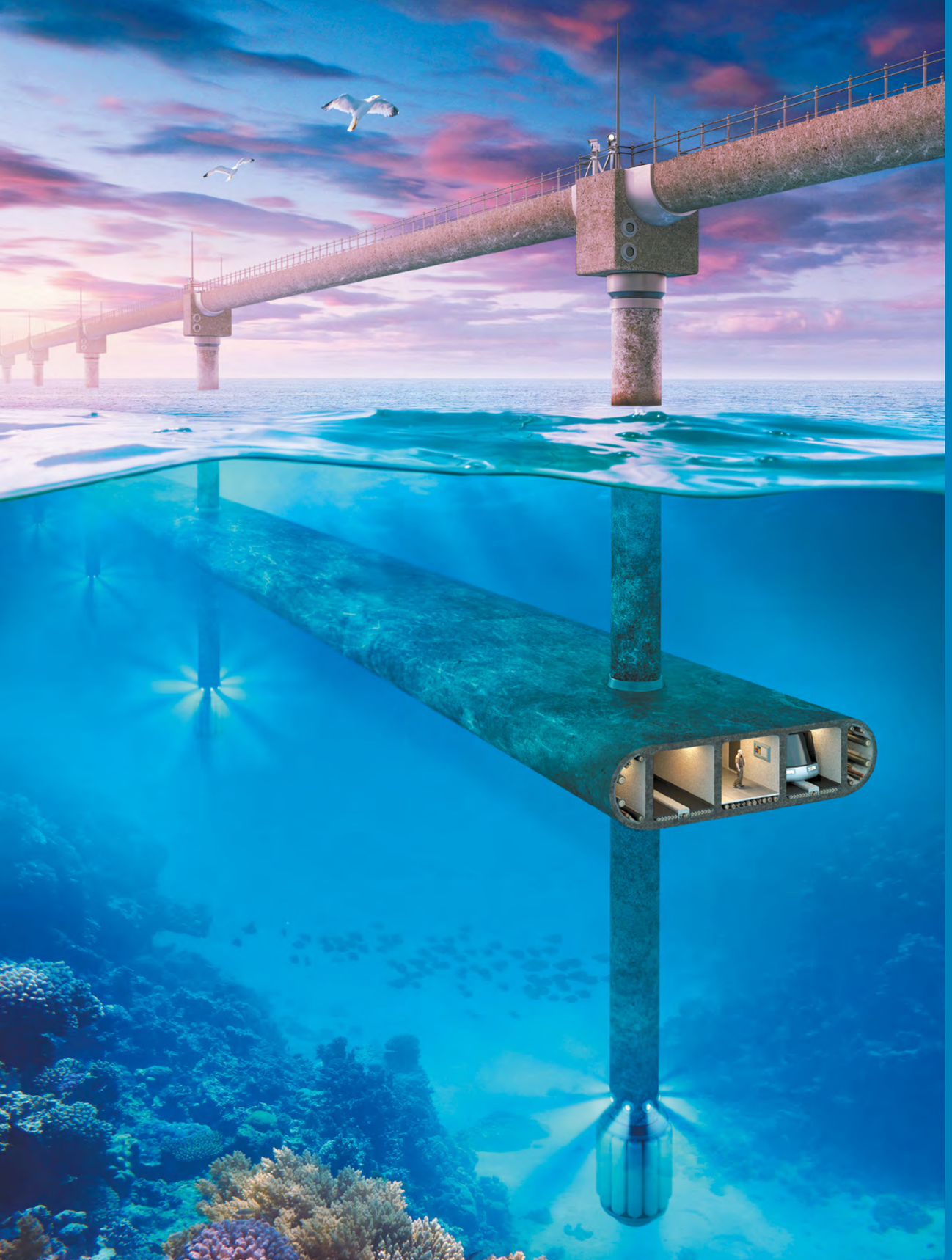
- полосы пропускания частот для измерения значений в октавных полосах частот в диапазоне 1–63 Гц и 1/3-октавных полосах частот в диапазоне 0,8–80 Гц;
- измерение уровней виброускорений в пределах 0,1–10 $м/с^2$ по всему спектру в октавных и 1/3-октавных полосах частот с постоянными времени усреднения (интегрирования) от 1 с до 10 с;
- измерение текущих, максимальных и минимальных (за время измерений) значений средних квадратических уровней, эквивалентных (по энергии) средних квадратических уровней абсолютных величин виброускорений в $м/с^2$ или их логарифмических уровней в дБ по всему диапазону октавных и 1/3-октавных полос частот одновременно по трём направлениям ортогональных осей (*X, Y, Z*) в одной точке измерений с применением одного трёхосевого акселерометра или трёх отдельных акселерометров, ориентированных вдоль осей (*X, Y, Z*);
- выполнение узкополосной спектральной обработки на основе БПФ-анализа спектров с высокой частотной детализацией;
- выполнение анализа порядковых (оборотных) и резонансных (собственных) составляющих в узкополосных БПФ-спектрах вибрации, что позволит реализовать комплексный подход к решению задачи по высокоточной непрерывной дистанционной диагностике (с привязкой к координатам) путевых структур транспортной эстакады ОТС и обеспечит минимизацию рисков возникновения аварийных ситуаций, связанных с техническим состоянием элементов системы «стальное колесо транспортного средства – стальная головка рельса».

Выводы
и дальнейшие направления исследования

На основании вышеизложенного можно предложить эффективный подход к организации системы дистанционной непрерывной бесконтактной диагностики и неразрушающего контроля рельсов эстакады ОТС, базирующейся на двух направлениях: использовании лазерного ультразвука для корпусных элементов и виброакустического метода для наборной поверхности катания (головки) рельсов. Внедрение данных технологий позволит гарантировать безопасность рельсового пути эстакады ОТС на уровне, необходимом для надёжной эксплуатации рассматриваемого масштабного сооружения после соответствующей апробации.

Литература

1. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Минск: Беларуская навука, 2017. – 342 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.: ил.*
3. *Characterization of Elastic Properties of Metals and Composites by Laser-Induced Ultrasound / V.V. Kozhushko [et al.] // Non-Destructive Testing and Repair of Pipelines; eds.: E.N. Barkanov, A. Dumitrescu, I.A. Parinov. – Springer, 2018. – P. 209–225.*
4. *Fully Noncontact Measurement of Inner Cracks in Thick Specimen with Fiber-Phased-Array Laser Ultrasonic Technique / C. Pei [et al.] // NDT & E International. – 2020. – Vol. 113. – 102273.*
5. *Non-Destructive Laser-Ultrasonic Synthetic Aperture Focusing Technique (SAFT) for 3D Visualization of Defects / C.-Y. Ni [et al.] // Photoacoustics. – 2021. – Vol. 22. – 100248.*
6. *Detection of Cracks in Metal Sheets Using Pulsed Laser Generated Ultrasound and EMAT Detection / S. Dixon [et al.] // Ultrasonics. – 2011. – Vol. 5 (1). – P. 7–16.*
7. *Method of Measuring the Mechanical Properties of Ferromagnetic Materials Based on Magnetostrictive EMAT Characteristic Parameters / P. Wang [et al.] // Measurement. – 2020. – Vol. 168. – 108187.*
8. *Study of a Spiral-Coil EMAT for Rail Subsurface Inspection / Y. Li [et al.] // Ultrasonics. – 2020. – Vol. 108. – 106169.*



УДК 624.21.037:629.73

Динамические характеристики подводного плавучего тоннеля при движущихся нагрузках

Юницкий А.Э.[1,2]
Артюшевский С.В.[2]

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

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

Приведены компоновочные решения океанических участков стартовой эстакады общепланетарного транспортного средства (ОТС), описано функциональное зонирование и обозначены возмущающие факторы, влияющие на геометрию плавучего тоннеля. Представлены требования обеспечения ровности и стабильности пути для перемещения гиперскоростных транспортных средств (ТС). Определены внутренние возмущающие факторы в виде движущихся грузовых и пассажирских ТС. Исследованы эффекты волновых возбуждений и вертикальных откликов от движения ТС в самых нагруженных условиях для разных длин пролётов. Выявлены углы поворота плавучего тоннеля от односторонней транспортной нагрузки. Рассчитано напряжение, возникающее в стенках тоннеля от проезжающих ТС.

Ключевые слова:
общепланетарное транспортное средство (ОТС), экваториальная эстакада, плавучий тоннель, гиперскоростной транспорт, океанический участок, возмущающий фактор.

Введение

Взлётно-посадочная полоса для общепланетарного транспортного средства (ОТС) представляет собой эстакадное строение, расположенное по линии экватора [1]. Оно объединяет в себе различные функции, основными из которых являются пассажиро- и грузораспределение, создание сухопутных и океанических (морских) взлётно-посадочных площадок по длине экватора, а также вокзалов прибытия/отправления и транспортно-логистических узлов.

Факторы, определяющие геометрию водных участков пути, можно разделить на внешние (морские течения, волны, ветер, проплывающие суда и др.) и внутренние. Основной внутренний фактор – движение транспортных средств (ТС), суммарно влияющих на геометрию подводного плавучего тоннеля и его положение. Существующие исследования плавучих тоннелей [2–4] направлены на изучение воздействия внешних факторов без учёта внутренних. Для применения таких сооружений в качестве автомобильных магистралей этого достаточно, но к конструкции плавучего тоннеля необходим комплексный подход из-за различных требований к структурным элементам. Самые жёсткие условия предъявляются к гиперскоростному транспортному комплексу, что связано со сверхвысокими скоростями движения (более 1000 км/ч), правилами безопасности при перевозке пассажиров в форвакуумных тоннелях и чрезвычайной чувствительностью к ровности путевой структуры.

Взаимное расположение транспортных путевых комплексов считается ключевым аспектом при составлении схемы нагрузок на плавучий тоннель, что нуждается в подробной проработке компоновки экваториальной эстакады.

Конструктивно-компоновочные решения и схема расположения нагрузок плавучего тоннеля

На рисунке 1 показано двумерное схематическое изображение рекомендуемой компоновки конструкции подводного плавучего тоннеля, служащего взлётно-посадочной площадкой для ОТС.

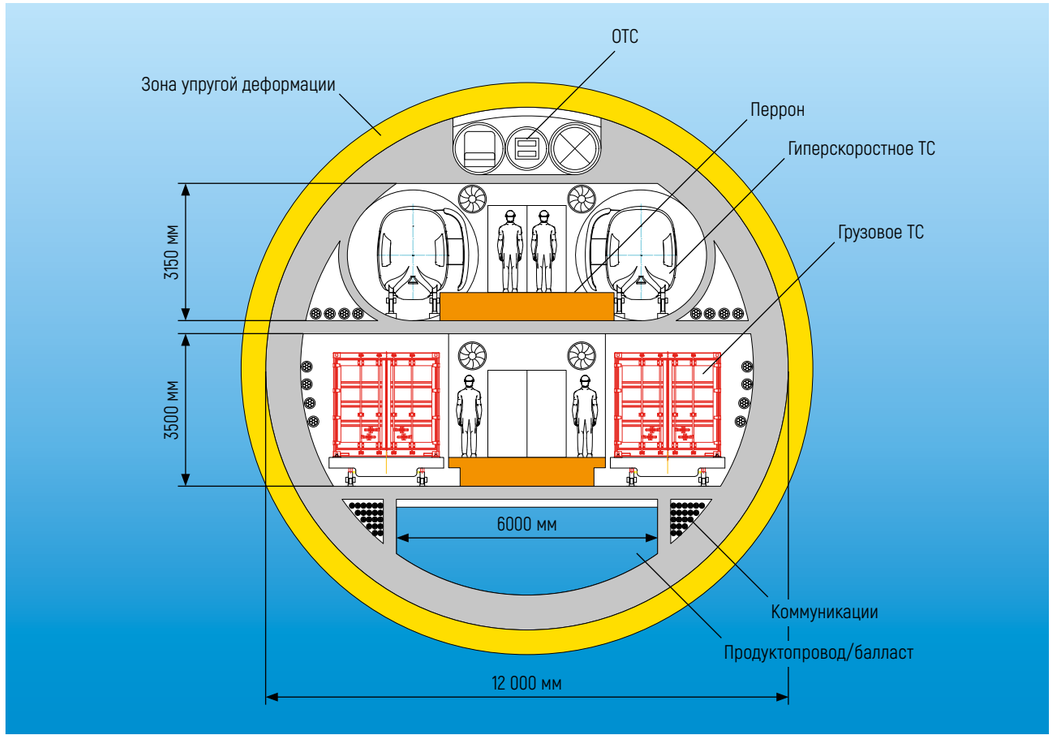


Рисунок 1 – Вариант компоновочного решения океанического участка подводной плавучей эстакады в зоне посадочной станции

Плавучая эстакада геометрически разделена на четыре функциональные зоны. В центральной нижней части располагается продуктопровод/балласт, необходимый для регулировки плавучести сооружения и доставки пресной воды; сечение сектора имеет площадь 11 м^2 в поперечнике [5]. Поскольку балластная вода идёт сплошным потоком, то она принята как статическая непрерывная нагрузка и в расчёте волновых возбуждений не учитывалась. По краям балластного отсека находятся отсеки, предназначенные для коммуникаций. Выше размещена зона грузовых ТС – основная возмущающая нагрузка. Над грузовыми отсеками базируются тоннели, созданные для движения форвакуумных гиперскоростных ТС. Предлагаемая конструкция характеризуется симметричной компоновкой, следовательно, направление движения можно не принимать во внимание. В верхней части – ложемент для приёма и старта ОТС с участком посадки и загрузки транспортных отсеков.

Главным конструктивным элементом внутренних компонентов является железобетон, придающий тоннелю требуемые прочность и вес. Несущая бетонная стена имеет наружный диаметр 12 м и общую толщину 0,6 м (рисунок 2).

Труба форвакуумного тоннеля разделена внутренними железобетонными перегородками. Пространство за перронами и посадочными отсеками в продольном направлении используется как коридор для эвакуации и технического обслуживания конструкции без изменения сечения, что даёт тоннелю постоянную жёсткость на протяжении всего пролёта. Так как зона упругой деформации состоит из пеноматериалов и достаточно тонкой коррозионно-стойкой гидроизоляционной оболочки [6], их характеристиками в расчёте пренебрегли как несущественными.

Предлагаемый вариант конструкции (при средней плотности морской воды в экваториальной зоне 1020 кг/м^3) имеет массу 115,3 т/пог. м. В случае применения бетона плотностью 2500 кг/м^3 в качестве основного конструкционного материала его приведённая площадь (для обеспечения нулевой плавучести) составит 46 м^2 (без учёта компенсации жидким балластом).

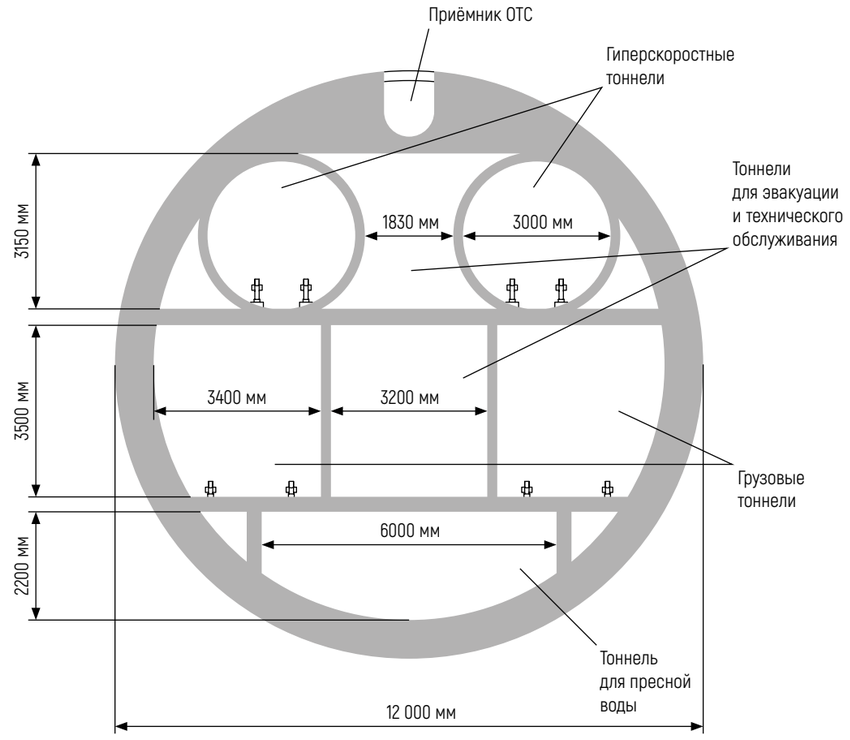


Рисунок 2 – Вариант компоновочного решения океанического участка подводной плавучей эстакады в межпролётном сечении

Для труб предложено использовать специальный высокопрочный бетон с волокнистым наполнителем, имеющий модуль Юнга 30 ГПа. Во избежание трещинообразования внешняя оболочка обжата продольной арматурой, при этом конструкция в целом растянута для устойчивости и сопротивляемости поперечным нагрузкам и изгибающим моментам. Такой эффект достигнут за счёт сегментирования трубы и применения различных по функционалу предварительно напряжённых струнных элементов в конструкции. Вместе с тем тоннель защищён от направленных на него гидростатических и гидродинамических сил [5].

Благодаря продольному направлению течений на экваторе и обеспечению минимальной плавучести тоннеля конструкция эстакады предусматривает максимальную длину пролётов; в качестве расчётных межопорных расстояний приняты 400 м, 800 м и 1200 м. Данные промежутки гарантируют требуемую жёсткость и прочность несущей части сооружения. Пролёты образованы тягами, идущими к якорям-фундаментам; при этом постоянно действующая на тоннель внешняя избыточная нагрузка – выталкивающая сила за вычетом веса тоннеля – направлена (в отличие от традиционных наземных эстакад) не вниз, а вертикально вверх.

Анализ влияния движущегося транспортного средства на тоннель

Исходные данные:

- бетон с модулем Юнга 30 ГПа;
- диаметр тоннеля – 12 м;
- толщина стенки – 0,6 м;
- длина фиксированного участка (пролёта) – 400 м, 800 м, 1200 м;
- расчётная масса – 115 300 кг/пог. м;
- плотность водной среды – 1020 кг/м^3;
- расчётная жёсткость на изгиб – 1,5 × 10^{10} кН/м;
- глубина погружения тоннеля – 50 м;
- коэффициент сопротивления формы – 0,55 (длинный цилиндр);
- вес одиночного гружёного грузового ТС – 54 000 кг;
- вес одиночного пассажирского ТС – 10 000 кг;
- длина одиночного гиперскоростного ТС – 12 м;
- длина одиночного грузового ТС – 22 м;
- периодичность движения транспорта – 90 с;
- расчётная скорость гиперскоростного ТС – 333 м/с (1200 км/ч);
- расчётная скорость грузового ТС – 41,7 м/с (150 км/ч).

Введены допущения:

- нагрузка от ТС равномерно распределяется по длине пролёта;
- ТС движется с постоянной скоростью.

2D-схема нагрузок, воспринимаемых плавучим тоннелем, показана на рисунке 3.

ТС во время движения образуют дополнительные гравитационные силы и силы инерции как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Кроме того, из-за внецентрового расположения транспортных тоннелей появляется крутящий момент. Гравитационные и инерционные силы, действующие на пролёт, выражены уравнением:

$$F_T = -(P_k + ma) \sum_{E=ei}^{el} \delta(E_x - E),$$

где P_k – гравитационная сила;

m – масса движущегося ТС;

a – вектор ускорения;

δ – функция двух переменных, или дельта-функция Кронекера;

E_x – участок, подверженный нагрузке;

E – все участки от ei (начальный) до el (последний), подверженные движущейся нагрузке на определённом временно́м интервале.

Расчёт проведён в ANSYS Workbench.

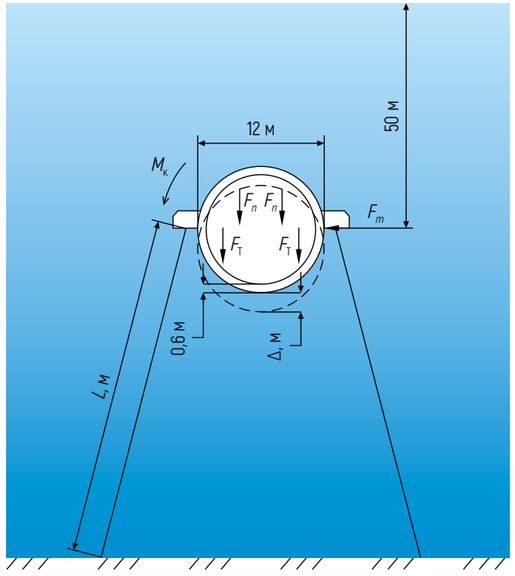
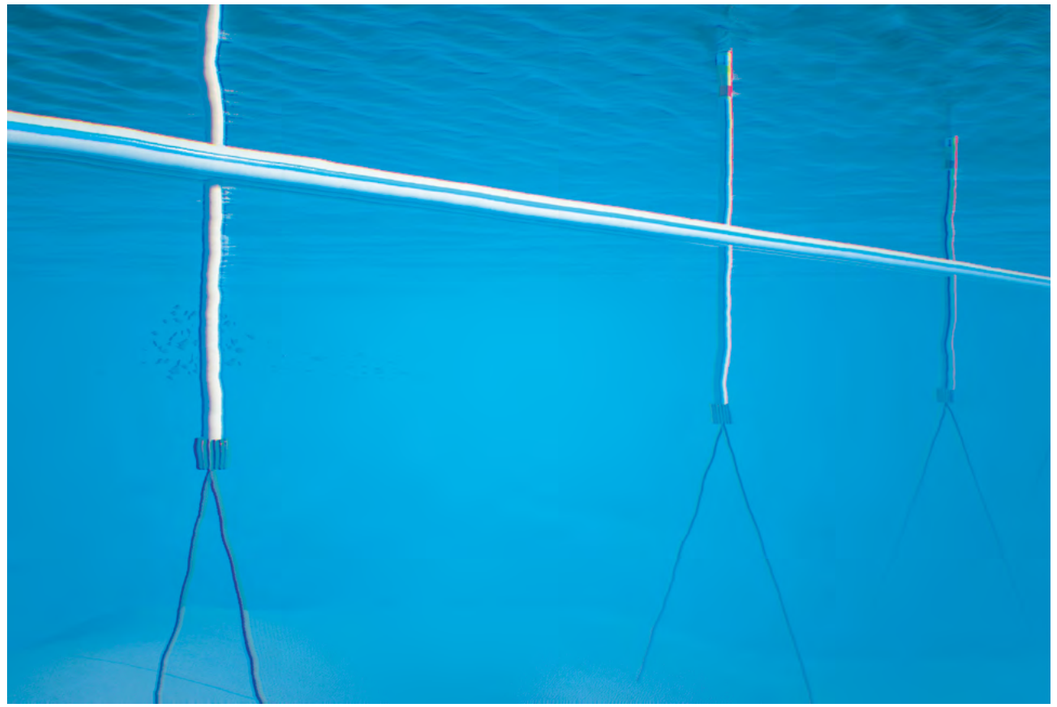


Рисунок 3 – 2D-схема нагрузок, воспринимаемых плавучим тоннелем



На рисунке 4 представлен общий вид расчётной модели океанического участка подводной взлётно-посадочной эстакады ОТС.

В качестве внешних нагрузок принято давление на стенки тоннеля на 50-метровой глубине – 500 000 Па. Возвращение в исходное положение после проезда ТС

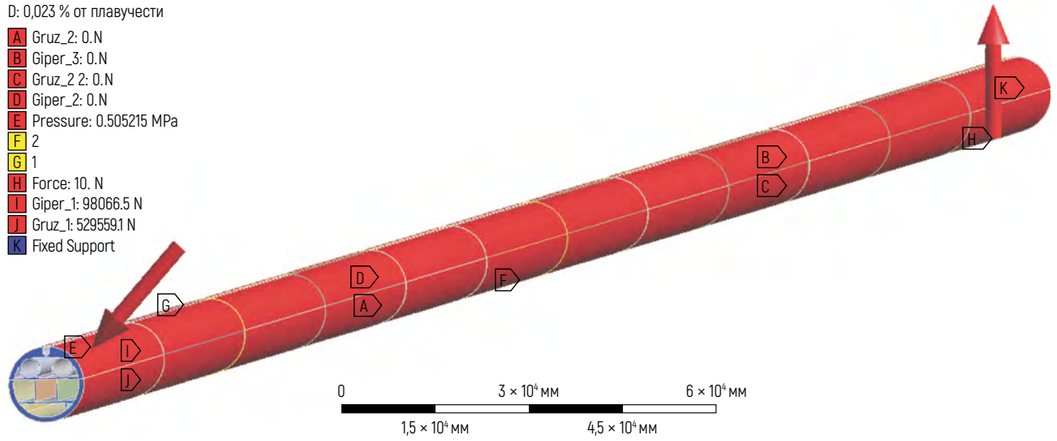


Рисунок 4 – Общий вид расчётной модели океанического участка подводной взлётно-посадочной эстакады ОТС

происходит за счёт положительной плавучести, равной 0,023 % от общей плавучести трубы, что соответствует транспортной нагрузке. Воздействие от транспорта (для моделирования кручения в конструкции и определения угла поворота) прикладывали поочерёдно в центре пролёта каждого расчётного исполнения с одной стороны. Концы пролётного участка жёстко фиксировались. Общий вид расчётной модели, отображающий конечно-элементную сетку, показан на рисунке 5.

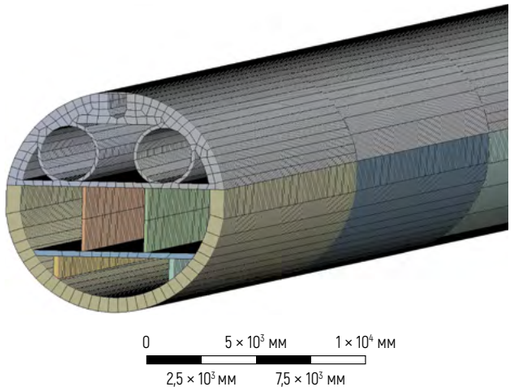


Рисунок 5 – Общий вид расчётной модели, отображающий конечно-элементную сетку

Анализ предварительных расчётов позволил пересмотреть предельные нагрузки на пролёт и допустить к эксплуатации контейнеровозы юниконт с максимальной массой 54 тонны. Дальнейшие вычисления велись для предельных нагрузок в случае одновременного нахождения четырёх ТС (двух грузовых и двух гиперскоростных) в центре пролёта (рисунок 8). Результаты представлены в таблице 1 и на рисунке 9.

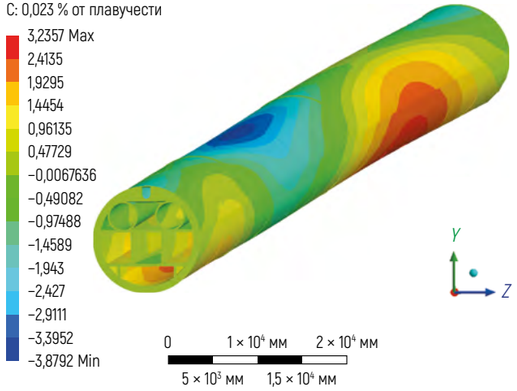


Рисунок 6 – Деформации по оси *Y* от действия избыточной подъёмной силы, мм

Результаты расчёта прогиба тоннеля

Во время низкой интенсивности движения благодаря 0,023 % положительной плавучести конструкция волнообразно выгибается на каждом пролёте на 3,2 мм вверх (рисунок 6), что даже на пролёте 400 м является допустимой погрешностью при строительстве. Однако при проведении расчёта данная величина учтена для получения наиболее точных результатов.

Предварительные расчёты и исследование эффектов волновых возбуждений и вертикальных откликов от одиночных ТС [5] показали, что значения вертикального перемещения (прогиба) плавучего тоннеля составили менее 1 мм в середине пролёта (рисунок 7) – вне зависимости от скорости.

Перемещение тоннеля значительно меньше по сравнению с волновыми возбуждениями, вызванными штормом или подводным землетрясением, что подтверждают и другие исследования [7, 8]. Продолжительность прогиба пролёта при прохождении ТС уменьшается с увеличением скорости, в то время как его величина остаётся практически одинаковой независимо от скорости движения (в пределах 3 % погрешности).

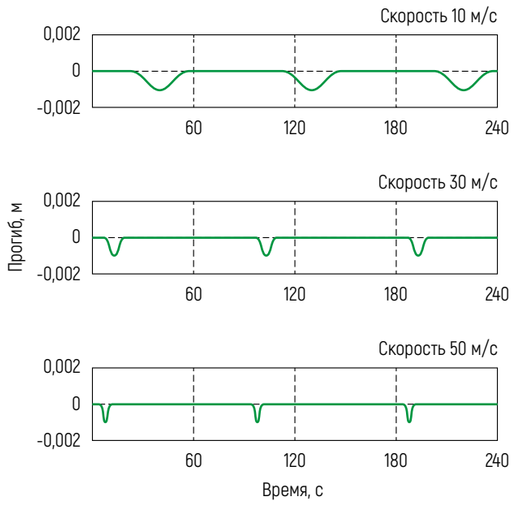


Рисунок 7 – Графики зависимости вертикальных перемещений тоннеля на пролёте от скорости проезда грузового транспорта весом 25 тонн

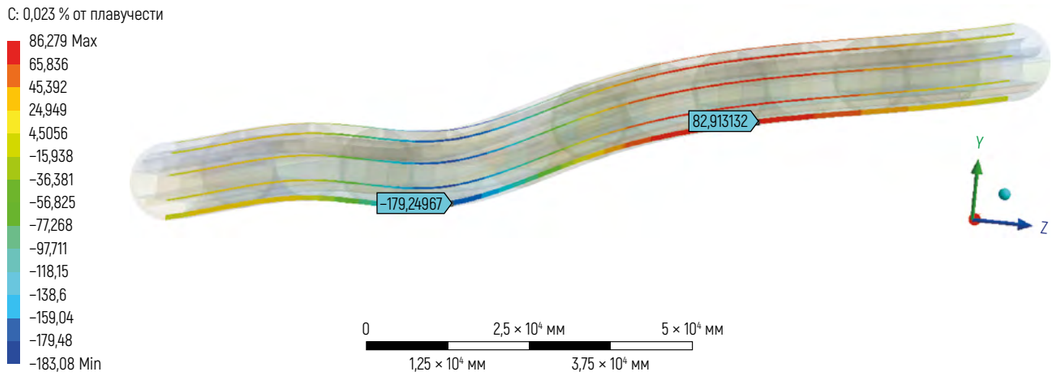


Рисунок 8 – Деформации по оси *Y* пролёта длиной 800 м при проезде ТС, мм

Таблица 1 – Характеристики движения гиперскоростного ТС при вертикальном прогибе плавучего тоннеля, вызванном проездом ТС общей массой 128 тонн (при различной длине пролётов)

Длина пролёта, м	Расстояние приложения нагрузки, м	Вертикальный прогиб, мм	Уклон, ‰	Перепад высоты при шестиметровой опорной базе, мм	Время проезда пролёта, с	Частота колебаний, Гц
400	200	21	0,105	0,63	1,2	0,83
800	400	183	0,46	2,76	2,4	0,42
1200	600	414	0,69	4,14	3,6	0,28

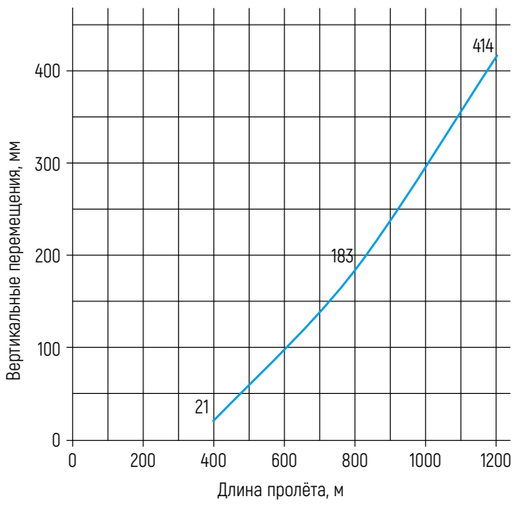


Рисунок 9 – График зависимости вертикальных перемещений тоннеля от длины пролёта при одновременном нахождении в центре пролёта четырёх ТС общей массой 128 тонн

Расчёты показали, что при изменении длины пролёта в два раза (с 400 м до 800 м) прогиб увеличился более чем в восемь раз (кубическая зависимость), дальнейшее удлинение пролёта в 1,5 раза (с 800 м до 1200 м) привело к возрастанию прогиба в 2,26 раза (квадратичная зависимость). Для определения более точного графика зависимости необходимы дополнительные расчёты с меньшим шагом изменения длины, однако для целей данных исследований выполненных вычислений достаточно.

Длина пролёта 400 м и менее не желательна, так как, учитывая время проезда участка, равное 1,2 с, частота вертикальных колебаний ТС составляет 0,83 Гц. Согласно [9] при частоте колебаний более 0,7 Гц возможны резонансные колебания в органах человека, что вызовет у пассажиров дискомфортные ощущения. При длине пролётов 1200 м прогиб 414 мм приведёт к его накоплению вследствие низкой скорости релаксации из-за малых значений плавучести тоннеля (0,023 %), что потребует или увеличения периодичности движения ТС, или повышения значения плавучести тоннеля в 2,5 раза. Следовательно, исходя из расчётов, оптимальная длина пролётов находится в диапазоне 700–900 м.

Результаты расчёта кручения тоннеля

При одностороннем движении ТС появляется крутящий момент, способный нарушить симметричное расположение тоннеля, что обуславливает изменение горизонтальности расположения поверхностей головок рельсов и понижение одного рельса относительно другого. В качестве негативного последствия для движения гиперскоростных ТС получен наклон транспорта и боковая смещающая сила, требующая компенсации.

Расчёт проведён для сонаправленного движения гиперскоростного и грузового ТС общей массой 64 тонны при их пересечении в центре пролёта (рисунок 10).

Результаты расчёта (таблица 2) показали высокую крутильную устойчивость для всех расчётных длин пролётов и крайне незначительные углы поворота, что позволяет в дальнейшем пренебречь данным возмущающим фактором.

Результаты расчёта нормальных напряжений тоннеля при проезде транспортного средства

В процессе расчёта также оценены нагрузки, воспринимаемые железобетоном как основным конструктивным элементом плавучего тоннеля. С учётом возможных несимметричных воздействий напряжения оценивались как в вертикальном (ось *Y*), так и в горизонтальном поперечном (ось *X*) направлениях (рисунки 11, 12, таблица 3).

Как показано на рисунках 11, 12, внешняя оболочка находится в обжатом состоянии, за исключением точечных концентраторов на стыках сегментов моделей. При конструировании данные места потребуют усиленного армирования, что обеспечит способность сооружения на протяжении нормативного срока службы сохранять работоспособность при установленной системе обслуживания.

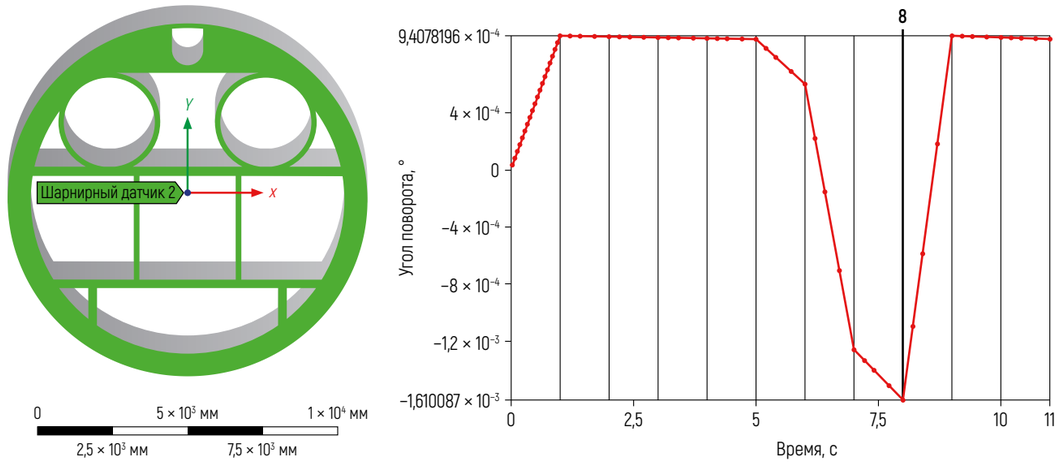


Рисунок 10 – Поворот сечения трубы при проезде ТС на пролёте длиной 800 м

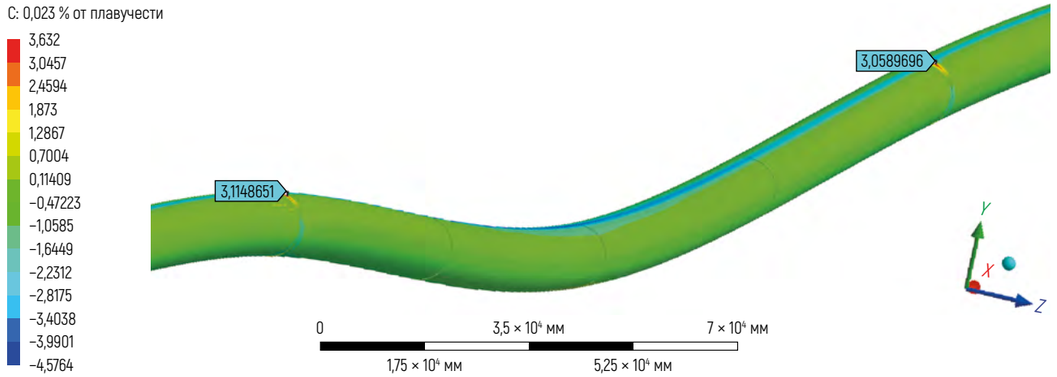


Рисунок 11 – Нормальные напряжения по оси *X* при проезде ТС пролёта длиной 800 м, МПа

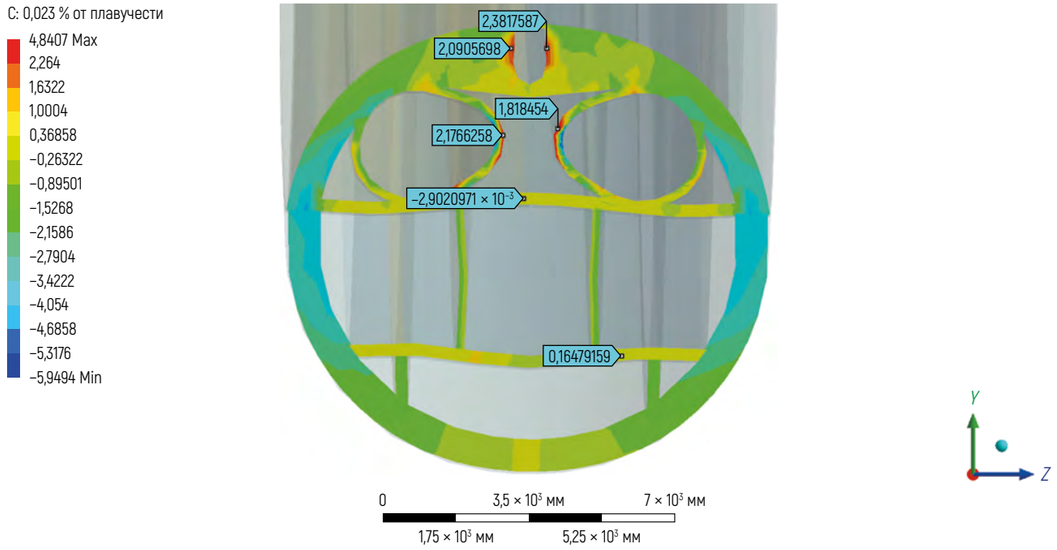


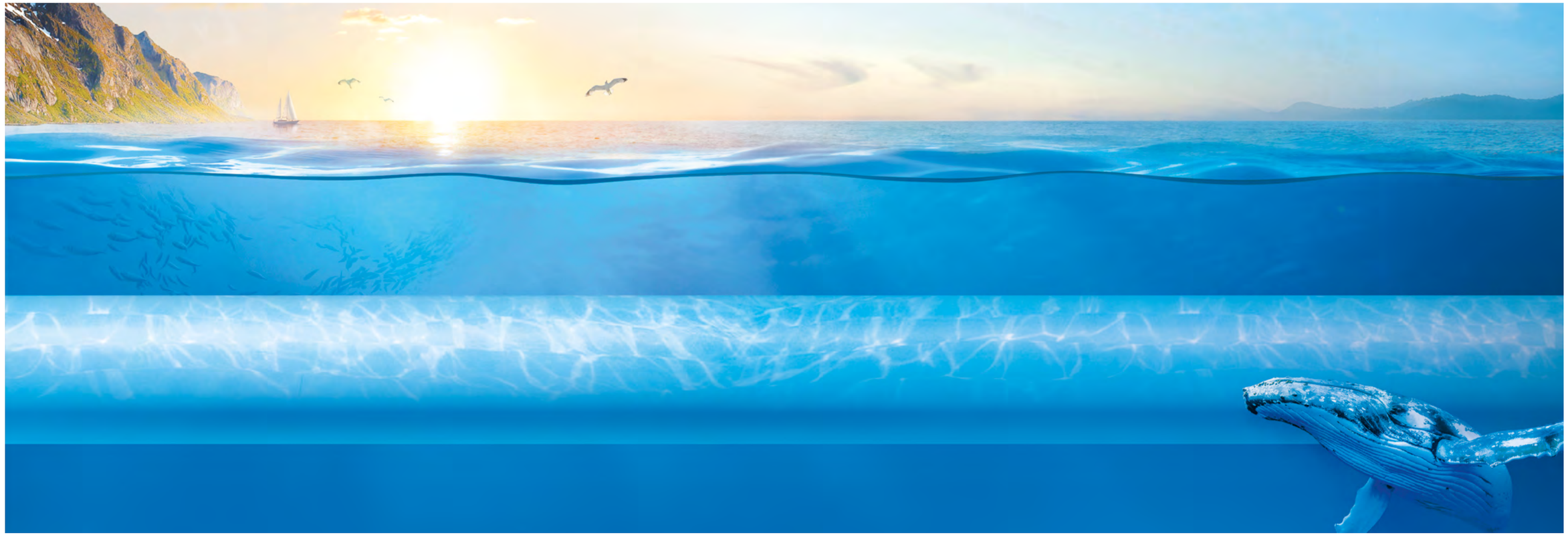
Рисунок 12 – Нормальные напряжения по оси *Y* при проезде ТС в середине пролёта длиной 800 м, МПа

Таблица 2 – Характеристики путевой структуры гиперскоростного тоннеля при кручении плавучего тоннеля, вызванном односторонним проездом ТС общей массой 64 тонны (при различной длине пролёта)

Длина пролёта, м	Расстояние приложения нагрузки, м	Угол поворота, °	Перепад высоты рельсов при 1,5-метровой колее, мм
400	200	0,001	0,026
800	400	0,0016	0,042
1200	600	0,0024	0,063

Таблица 3 – Значения напряжений в плавучем тоннеле при проезде ТС общей массой 128 тонн (при различной длине пролёта)

Длина пролёта, м	Расстояние приложения нагрузки, м	Нормальные напряжения по оси *X*, МПа	Нормальные напряжения по оси *Y*, МПа
400	200	3,5	3,9
800	400	3,6	4,8
1200	600	4,6	4,2



Выводы и дальнейшие направления исследования

Приведённые в статье основные технические решения, принимаемые при проектировании экваториальной эстакады ОТС, могут быть реализованы при современном технологическом уровне транспортного строительства. Расчёты показывают устойчивость предлагаемой компоновки и описанной конструкции к внутренним нагрузкам, что свидетельствует о технической возможности осуществления данного проекта. В то же время полный учёт всех факторов, оказывающих влияние на экваториальную эстакаду на протяжении её жизненного цикла (при строительстве, эксплуатации, модернизации и утилизации), снизит риски и увеличит срок службы конструкции в целом. Такой подход даёт возможность более детально проработать как отдельные элементы, так и всю эстакаду во взаимодействии с транспортными, природными и техногенными нагрузками, что позволит найти наиболее оптимальные технические и технологические решения по её созданию.

В статье подробно рассчитано влияние проезжающих ТС на волновые колебания тоннеля, погружённого в воду на глубину 50 м (ниже осадки крупных морских судов и впадин самых высоких волн) для обеспечения плавного и комфортного движения гиперскоростного транспорта. Данное исследование требует продолжения, при котором будут учтены все внешние возмущающие факторы и их синергия. Кроме того, авторами предложен вариант компоновки эстакады ОТС и описан функционал отдельных зон, что также нуждается в техническом и экономическом анализе.

Литература

1. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.: ил.*
2. *Simplified Analysis for Estimation of the Behavior of a Submerged Floating Tunnel in Waves and Experimental Verification / S. Seo [et al.] // Marine Structures. – 2015. – Vol. 44. – P. 142–158.*
3. *Xiang, Y. Challenge in Design and Construction of Submerged Floating Tunnel and State-of-Art / Y. Xiang, Y. Yang // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 166. – P. 53–60.*
4. *Numerical Simulation of the Coupled Dynamic Response of a Submerged Floating Tunnel with Mooring Lines in Regular Waves / C. Cifuentes [et al.] // Ocean Systems Engineering. – 2015. – Vol. 5, No. 2. – P. 109–123.*
5. *Юницкий, А.Э. Разработка конструкции, изыскания и проектирование экваториальной эстакады общепланетарного транспортного средства / А.Э. Юницкий, Д.И. Бочкарёв, С.В. Артюшевский // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. – 2021. – № 2. – С. 205–216.*
6. *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. / Астроинженерные технологии, Струнные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – С. 152–169.*
7. *Jin, C. Dynamic Responses of a Moored Submerged Floating Tunnel under Moving Loads and Wave Excitations / C. Jin, M. Kim // The 28th International Ocean and Polar Engineering Conference, Sapporo, 10–15 June 2018: in 4 vol. / International Society of Offshore and Polar Engineers. – Cupertino: ISOPE, 2018. – Vol. 3. – P. 278–283.*
8. *Displacement Response of Submerged Floating Tunnel Tube due to Single Moving Load / Z. Yuan [et al.] // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 166. – P. 143–151.*
9. *Современные решения задач безопасности в квалификационных инженерных работах / В.М. Дмитриев [и др.]. – Тамбов: ТГТУ, 2010. – 21 с.*

УДК 69.036.7

Проектирование и строительство промежуточных опор эстакады общепланетарного транспортного средства: проблемы и решения

Юницкий А.Э.[1, 2]
Жарый С.А.[2]

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

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

В мире построено около 100 сооружений высотой более 300 м; из них только три моста имеют опоры выше указанной отметки. Самая высокая опора принадлежит мосту Виадук Мийо (343 м). При конструировании таких масштабных сооружений возникает множество проблем. С аналогичными вопросами столкнулись и авторы данной статьи, разрабатывая опоры экваториальной эстакады общепланетарного транспортного средства (ОТС). Кроме того, следует учитывать специфические нагрузки от функционирования ОТС. Предложенная авторами форма промежуточной опоры подобрана для оптимального распределения всех внешних нагрузок. Рассмотрены разные варианты исполнения связевой решётки промежуточных опор, а также влияние выбранных решений на массу, деформации и собственные частоты колебаний.

Ключевые слова:
общепланетарное транспортное средство (ОТС), траектория движения ротора, опоры экваториальной эстакады, экваториальная взлётно-посадочная эстакада, нагрузки на экваториальную транспортную эстакаду.

Введение

Экваториальная транспортная эстакада, как следует из названия, проходит по экватору Земли и образует замкнутое кольцо. Её трасса пересекает три океана и два материка, на которых имеются горные массивы. Такое расположение позволяет объединить огромные территории в единую транспортно-инфраструктурную сеть; вместе с тем оно вызывает множество сложностей при воплощении данного проекта как на сухопутных, так и на океанических участках.

Строительство экваториальной транспортной эстакады, безусловно, будет одним из самых масштабных проектов человечества на планете и поднимет земную транспортную индустрию на новый уровень, однако не только в этом её главное предназначение. Эстакада станет стартовой и посадочной площадкой для общепланетарного транспортного средства (ОТС) [1, 2]. ОТС осуществит транспортное сообщение между поверхностью Земли и орбитальным индустриальным комплексом, где расположится вся промышленность будущей космической цивилизации. Благодаря представленному решению биосфера Земли освободится от вредного влияния технического прогресса.

Это долгий путь, старт которого начнётся со строительства промежуточных опор по линии экватора. Длина экваториальной эстакады составит 40 076 км, для её сооружения понадобятся сотни тысяч опор, в том числе высоких (более 100 м) и очень высоких (более 300 м). Следовательно, одна из основных задач – удешевление конструкции с сохранением всех эксплуатационных функций. При этом опора должна выдерживать все нагрузки, создаваемые эстакадой, порывами шквального ветра и землетрясениями.

Цель исследования – проанализировать нагрузки, которые действуют на промежуточную опору экваториальной эстакады; рассчитать оптимальную, по мнению авторов, форму опоры; рассмотреть разные варианты исполнения внутренней силовой решётки при одинаковых условиях эксплуатации.

Обзор литературы

В 1989 г. проведён анализ возможных вариантов исполнения промежуточных опор экваториальной эстакады и их материалоёмкости [2]. Количество опор высотой до 100 м составило 10 %.

Однако для прохождения горных массивов данной высоты недостаточно. Расчёт оптимальной траектории движения ротора ОТС в Южной Америке и Африке с радиусами вертикальной кривизны 100 км, 1000 км и 5760 км (радиус Земли по экватору – 6378,1 км) показал необходимость опор высотой 300 м и более [3].

Невозможно разработать столь сложную конструкцию, не опираясь на существующий опыт проектирования. Аналогов экваториальной эстакады в мире не имеется, но в качестве примера рассмотрим объекты, которые совершили прорыв в своё время.

Первый стальной мост построен в 1779 г. в графстве Шропшир (Англия) под руководством А. Дерби [4]. В дальнейшем качество и количество металлических конструкций начали расти экспоненциально.

Благодаря разработке мартеновской печи XIX в. можно назвать временем масштабного применения стали при возведении мостов. В этот период построены гиганты:

- Фортский мост (1890 г.): пролёт – 210 м, высота в опорной зоне – 100,6 м;
- мост Британия (1850 г.): общая длина – 460 м, пролёты – 140 м.

Кроме этого, из ковкого чугуна было установлено ещё множество мостов, которые открыли новую эру строительства, тем самым позволив возводить лёгкие, ажурные конструкции и уйти от тяжёлых каменных и бетонных сооружений.

Следующий этап развития металлоконструкций – освоение выплавки стали с низким содержанием углерода и применение легирующих добавок. Пришлось это на начало XX в., когда предыдущие варианты уже не соответствовали требованиям архитектуры. Один из примеров – сталь «Дворец Советов», разработанная в Советском Союзе для реализации грандиозного проекта – возведения Дворца Советов.

Вместе с тем получила своё развитие выработка стали, предназначенной для производства несущих канатов и высоких опор (пилонов) висячих мостов, которые нашли широкое применение в США. В частности, был сооружён мост Золотые Ворота в г. Сан-Франциско (1937 г.): общая длина – 2737 м; высота пилона – 227 м.

Применение таких конструкций потребовало дополнительных исследований и привело к выявлению связанных с ветровыми колебаниями специфических эффектов – аэроупругих колебаний большепролётных и высоких сооружений, а также частотных характеристик ветровых потоков.

В настоящее время реализация высотных проектов уже не является чем-то необычным. Так, разработка новых материалов (на основе бетона и металла) позволяет возводить объекты высотой до 820 м (на данный момент самое высокое здание находится в ОАЭ – башня Бурдж-Халифа (2010 г.)) и выше (ведётся строительство 1300-метрового здания в ОАЭ).

В мировой практике уже существуют мосты с высокими опорами. Пример, наиболее схожий с проектируемой эстакадой по условиям строительства, – висячий мост через долину р. Сыдухэ в провинции Хубэй в Китае. Его длина составляет 1341 м, высота опор относительно подошвы фундамента – 269 м и 245 м. Сооружён мост в гористой местности, открыт для движения в 2009 г.

Однако самая высокая (343 м) опора моста в мире на текущий момент принадлежит Виадуку Мийо [5]. Длина данного моста равна 2460 м (2004 г.).

Как видим, с 1989 г., когда завершились первые проработки вариантов исполнения промежуточных опор, прогресс в области строительства не стоял на месте. Каждое новое сооружение, при возведении которого возникали большие трудности, мотивировало создавать новые технологии. Глядя на количество вопросов, стоящих перед специалистами, проектирующими экваториальную эстакаду, можно сказать, что будет представлено множество уникальных инновационных технических решений, часть из которых рассмотрена далее в данной статье.

Основные нагрузки на промежуточную опору

Для правильного анализа и расчёта промежуточных опор необходимо рассмотреть особенности строения и принцип работы ОТС [1, 2]. Оно состоит из внешней оболочки, на которую крепится всё оборудование и полезный груз, и внутреннего ротора, скорость которого достигает 12 км/с. При разгоне ротора создаётся подъёмная сила, что и обеспечивает старт ОТС. При этом результирующая сила притяжения меняется от полной массы всех элементов до отрицательных значений.

Нагрузка от ОТС

Вес ОТС может изменяться в пределах от 1000 кг до 0 кг на погонный метр и наоборот при взлёте и посадке, что важно учесть при расчёте эстакады и её опор.

ОТС также выставляет ряд требований, связанных с функционированием ротора внутри него при всех режимах эксплуатации. После включения комплекса движение ротора не прекращается. Это вызвано тем, что на остановку ротора после посадки нужно тратить дополнительную энергию, которую придётся восстанавливать для следующего запуска. Соответственно, форма стартовой площадки (эстакады) должна всегда соответствовать оптимальному режиму работы ротора.

Нагрузка от эстакады

Выбор типа пролётного строения существенно влияет на вес эстакады и её парусность. Наиболее распространёнными мостовыми конструкциями являются балочные пролётные строения со сплошными и решётчатыми стенками, а также арочные, вантовые и висячие мосты [6]. Самую большую величину пролёта при минимальных затратах материалов могут обеспечить висячие системы. Следовательно, для расчёта промежуточных опор авторы выбрали предварительно напряжённую рельсо-струнную вантовую ферму (рисунок 1) с собственным весом 1000 кг на погонный метр. По нижнему стабилизирующему поясу будут проходить магистрали Струнного транспорта Юницкого (ЮСТ; англ. – uST) и разместится взлётно-посадочная полоса для ОТС.

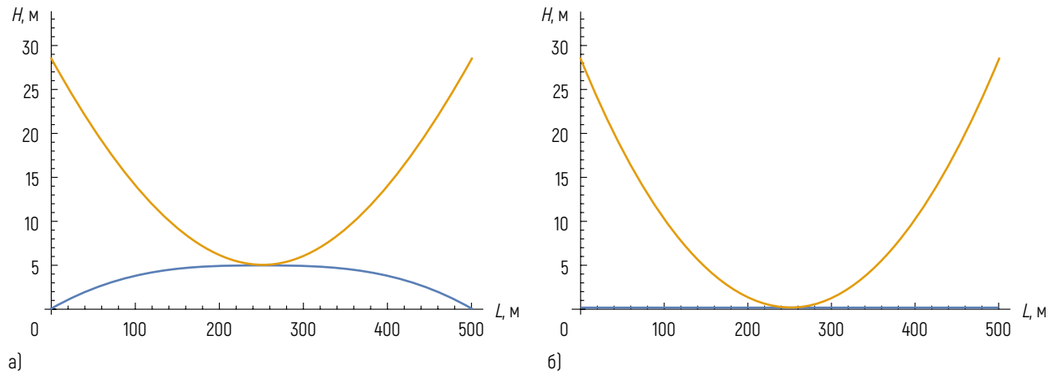


Рисунок 1 – Предварительно напряжённая вантовая система: а – без ОТС; б – с ОТС

С высотой промежуточных опор 300 м нерационально использовать малые пролёты экваториальной эстакады. Для всех вариантов опор принят пролёт 500 м.

Суммарное натяжение верхнего и нижнего поясов вантовой фермы составило 3700 тонн. Высота пилонов – 30 м. Деформация под весом ОТС – 5 м.

Большие деформации ОТС приведут к сбою в работе линейных роторов, движущихся с космическими скоростями. Необходимо минимизировать любые отклонения от идеальной траектории движения до момента отрыва от эстакады. Возможны несколько способов решения данной проблемы:

- увеличение жёсткости эстакады с одновременным уменьшением длины пролётов. Однако такой подход значительно увеличит затраты на строительство;
- компенсация потери веса ОТС от создаваемой ротором подъёмной силы за счёт равномерного регулируемого балласта (например, заполнение резервуаров водой по всей длине эстакады). Для правильной работы всей системы следует синхронизировать скорость изменения подъёмной силы, которую создаёт ротор, и добавления балласта;
- использование механизации (например, установка гидравлических систем для выравнивания ОТС по идеальной траектории). В подобном варианте также необходима синхронизация с работой ротора, но при этом возрастает стоимость за счёт использования дорогостоящего оборудования.

Самый экономичный вариант из вышеперечисленных – компенсация подъёмной силы, что потребует минимального количества механизации и материалов на свою реализацию. Благодаря современным системам управления имеется возможность организовать синхронную работу.

Ветровая нагрузка

Для определения ветровой нагрузки использован ТКП EN 1991-1-4-2009 «Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1–4. Общие воздействия. Ветровые воздействия» [7, 8]. В данной нормативной документации установлено ограничение на высоту рассчитываемой конструкции в 200 м, но так как отсутствуют статистические характеристики по ветровому потоку на высоте больше 200 м от уровня земли в месте предполагаемого строительства, то вышеуказанное ограничение в настоящей работе не учитывается.

На текущий момент в зоне возведения экваториальной эстакады не проводились изыскания по определению максимальной скорости ветра. Результаты наблюдений, проведённых в разных странах, зачастую не превышают V_{b0} = 30 м/с.

Сейсмическая нагрузка

Экваториальная эстакада проходит через множество сейсмически активных зон [9, 10], что предъявляет конструктивные требования как к опорам, так и к исполнению их узлов.

На рисунке 2 показаны все случаи землетрясений разной интенсивности за период 1976–2005 гг.

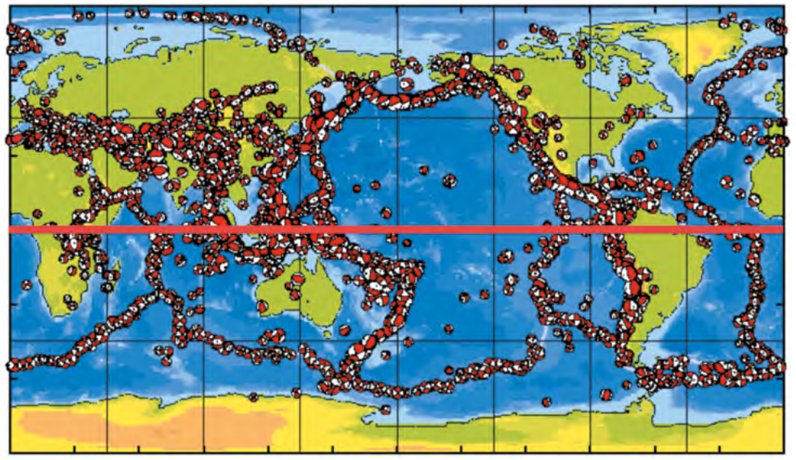


Рисунок 2 – Районы землетрясений за период 1976–2005 гг. [10]

При проектировании опор необходимо ориентироваться на детальные и самые последние исследования конкретных регионов. Сейсмическую активность можно изучить на сайте volcanodiscovery.com [11].

В данной работе расчёт выполнялся по общим правилам ТКП EN 1998-1-2011 «Еврокод 8. Проектирование сейсмостойких конструкций. Часть 1. Общие правила, сейсмические воздействия и правила для зданий» [12].

Выбранные конструктивные решения

Если не учитывать сейсмическую нагрузку, то основными усилиями, действующими на промежуточную опору экваториальной эстакады, являются сосредоточенные нагрузки в вертикальной и горизонтальной плоскостях на вершине опоры, а также распределённая нагрузка в горизонтальном направлении по всей высоте опоры. В зависимости от доминирующего усилия форма опоры может меняться. Если преобладает сосредоточенная горизонтальная нагрузка (ветровое давление на эстакаду), то стойки опоры выравниваются в линию. При других вариантах сочетаний нагрузок стойки становятся более изогнутыми.

Для таких типов опор оптимальной считается крестовая решётка [13]. Раскосы пересекаются по центральной оси опоры (рисунок 3) с целью уменьшения расчётной длины. Это наиболее приемлемая форма для обеспечения высокой жёсткости при минимальном использовании материалов.

Расстояние между стойками и их форма подобраны из условий равномерного усилия по всей высоте опоры.

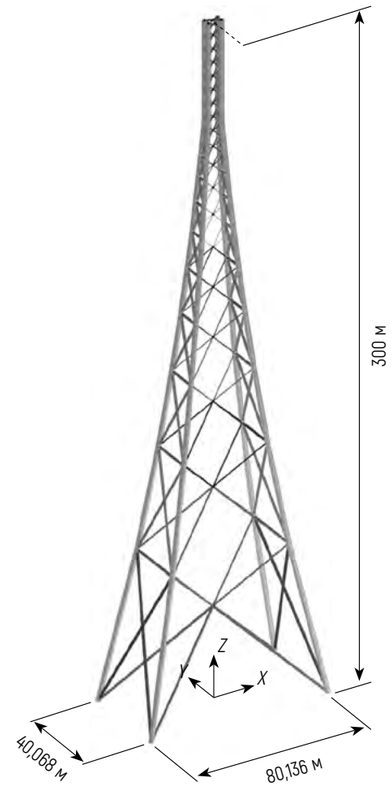
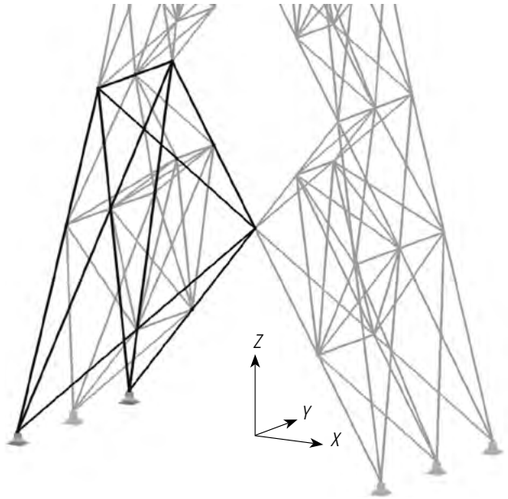


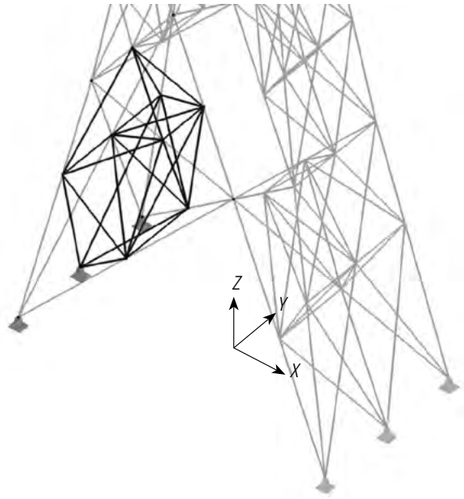
Рисунок 3 – Вариант промежуточной опоры экваториальной эстакады

Для уменьшения длины раскосов и главных стоек нужно добавить дополнительные связи, разбивая пирамидальные секции (рисунок 4а) на более мелкие (рисунок 4б) с делением расчётной длины всех элементов на два (рисунок 4в). В результате получена решётка с однократным уплотнением (рисунок 4г).

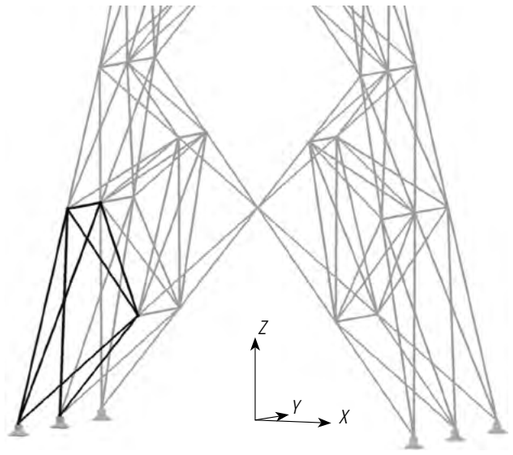
Все работы по моделированию таких опор очень трудоёмки и в масштабе всей экваториальной эстакады



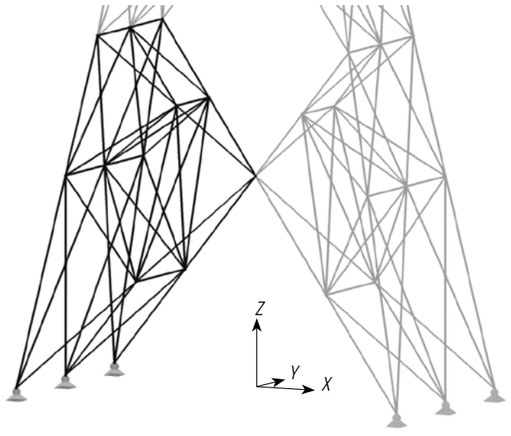
а)



в)



б)



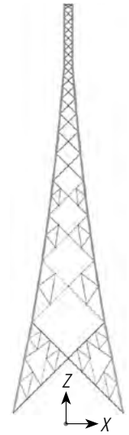
г)

Рисунок 4 – Уплотнение решётки опоры:
а – секция решётки опоры; б – разбиение на новые секции;
в – добавление новых элементов; г – финальный вид решётки

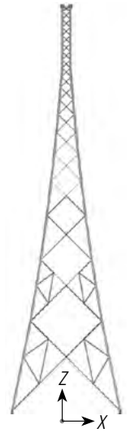
займут слишком много времени. Для ускорения процесса написан алгоритм, который позволит генерировать подобные решётки любой кратности в зависимости от геометрии опоры.

Для определения эффективности такого метода выполнен расчёт без уплотнения и с одно-, дву- и трёхкратным уплотнением решётки (рисунок 5).

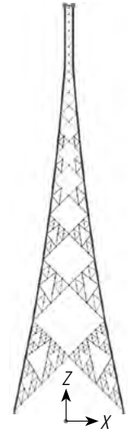
а)



в)



б)



г)

Рисунок 5 – Уплотнение решётки опоры:
а – решётка без уплотнения; б – решётка с однократным уплотнением; в – решётка с двукратным уплотнением;
г – решётка с трёхкратным уплотнением

Результаты расчёта

Расчёт показал, что геометрия опоры под нагрузки подобрана правильно; практически по всей высоте опоры сила сжатия *N* в стойках одинаковая при ULS (Ultimate Limit State – предельное состояние несущей способности) (рисунок 6).

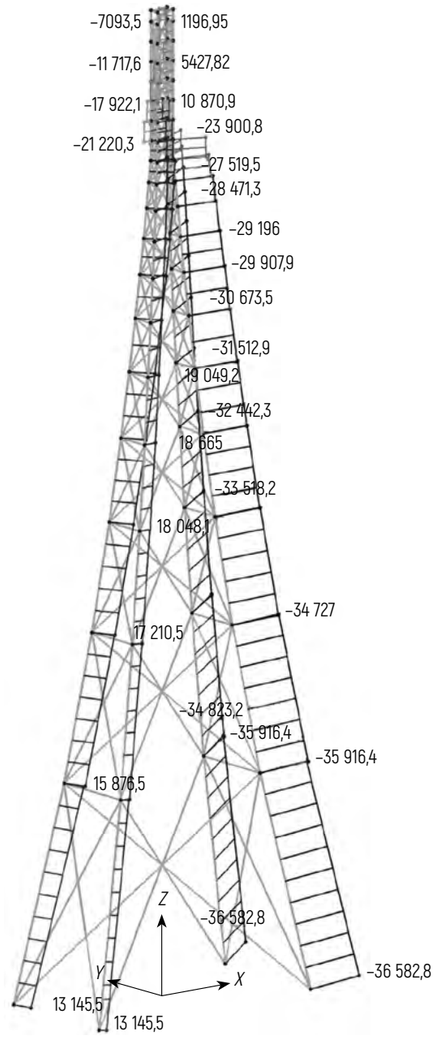


Рисунок 6 – Эпюра *N* в стойках опоры при ULS, кН

Определены первые четыре формы собственных частот колебаний (рисунок 7). Расчёт вёлся с учётом веса экваториальной эстакады и расположенного на ней ОТС. Ни одна из форм не является крутильной.

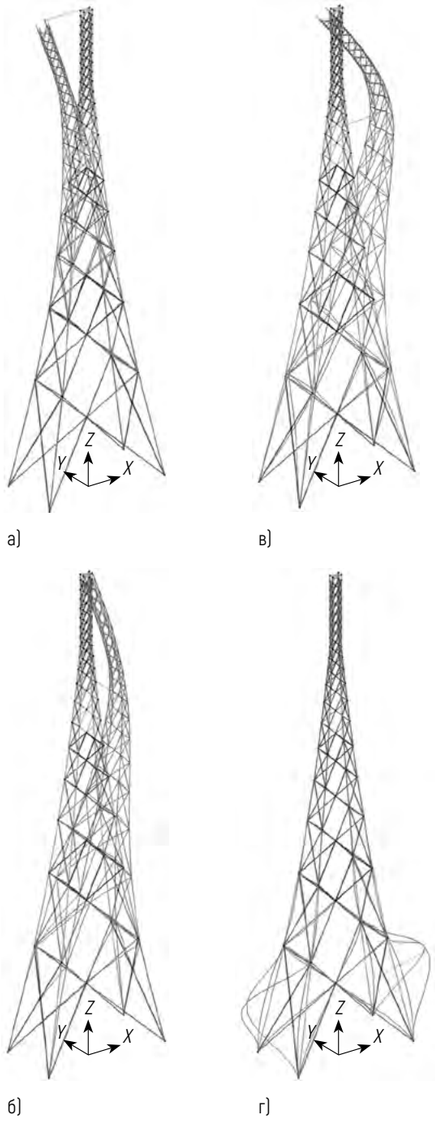


Рисунок 7 – Формы собственных частот колебаний:
а – первая форма – 0,341 Гц; б – вторая форма – 0,644 Гц;
в – третья форма – 0,934 Гц; г – четвёртая форма – 1,103 Гц

Рассмотрим каждую форму отдельно:

- первая форма выполняет колебания перпендикулярно транспортной эстакаде;
- вторая форма выполняет колебания вдоль транспортной эстакады;
- третья форма – более усложнённый вариант первой формы;
- четвёртая форма показывает колебания нижней раскосной решётки. Во избежание данных вибраций нужно увеличивать жёсткость раскосов.

Максимальные поперечные перемещения возникают на вершинах опор – 1055 мм (рисунок 8).

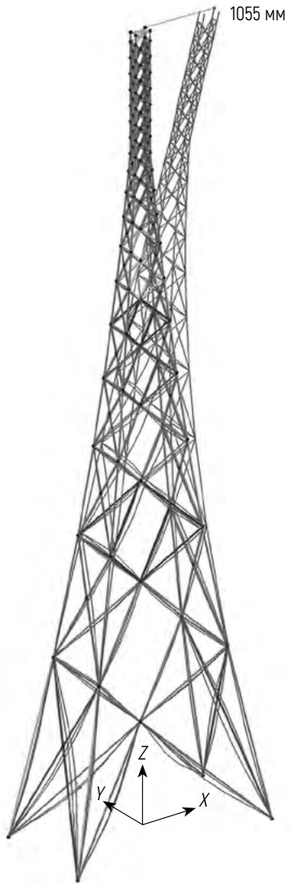


Рисунок 8 – Максимальные деформации опоры
без уплотнения решётки

При расчёте деформаций, образованных от сейсмических нагрузок, выбрана форма упругого спектра реакций (рисунок 9).

Полученные деформации значительно меньше значений, выявленных от ветровой нагрузки, и составили 58,1 мм для опоры без уплотнения решётки и 77 мм для опоры с трёхкратным уплотнением (рисунок 10). Вышеуказанные результаты приведены только для опоры без уплотнения решётки.

Для всех остальных типов информация представлена в таблице.

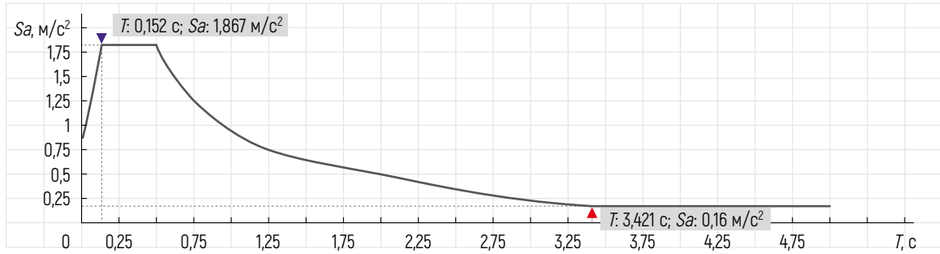


Рисунок 9 – Форма упругого спектра реакций

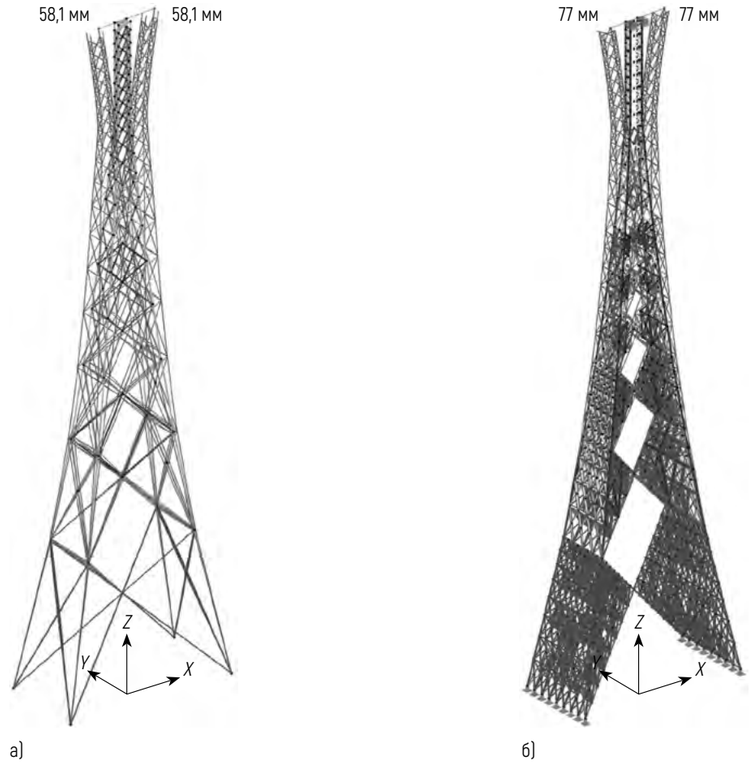


Рисунок 10 – Максимальные деформации опоры от сейсмических нагрузок:
а – опора без уплотнения решётки; б – опора с трёхкратным уплотнением решётки

Таблица – Результаты сравнения опор с разным типом решётки

Характеристика \ Тип опоры	Без уплотнения решётки	С однократным уплотнением решётки	С двукратным уплотнением решётки	С трёхкратным уплотнением решётки
Вес опоры, тонн	3814	3028	2542	2290
Сечение основных стоек, мм	2134 × 36	1727 × 30	1422 × 28	1219 × 25
Собственная частота без эстакады и ОТС, Гц	0,596	0,614	0,629	0,68
Собственная частота с эстакадой и ОТС, Гц	0,341	0,296	0,27	0,24
Отклонение опоры при SLS, мм	1055	1578	1993	2779

Выводы и дальнейшие направления исследования

Расчёт разных вариантов исполнения внутренней решётки данного типа опор показал, что на жёсткость и деформации конструкции влияет геометрия основных стоек. Снижение площади поперечного сечения приводит к уменьшению общего веса опоры, но увеличивает поперечные деформации от внешних нагрузок.

Проанализировав рассмотренные вопросы, можно сделать следующие выводы:

- перед началом проектирования необходимо провести климатические и сейсмологические исследования на пути прохождения экваториальной эстакады;
- постройка экваториальной эстакады с пролётами 500 м по типу вантовой предварительно напряжённой системы возможна, однако следует решить ряд вопросов, связанных с отклонениями от идеальной траектории движения ротора;
- объективно будут существовать локальные отклонения экваториальной эстакады от оси трассы, что создаст отклонения от идеальной плоскости вращения роторов ОТС и потребует поиска решения данной проблемы (например, создание рельсового механизма на каждой опоре поперёк эстакады, который будет удерживать эстакаду в пределах надлежащих допусков);
- для ускорения процесса проектирования экваториальной эстакады и её опор целесообразно разработать специальный программный комплекс.

В дальнейшей работе требуется более детально рассмотреть конструкцию экваториальной транспортной эстакады с учётом особенностей старта и посадки ОТС.

После концептуальной проработки всех элементов ОТС и эстакады нужно выполнить построение траектории трассы, учитывая все особенности и ограничения. Это позволит провести посадку опор на местность и выполнить уточнение по их высотам, а значит, станет возможным оценить общую материалоёмкость изготовления опор и трудоёмкость их возведения.

Кроме того, имеет смысл проанализировать вариант расположения экваториальной эстакады в обход крупных гор.

Литература

1. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.: ил.*
2. *Кривко, О.П. Анализ вариантов конструкции эстакады ОТС / О.П. Кривко, Г.Ф. Логвинов; под. общ. рук. А.Э. Юницкого. – Гомель: Центр «Звёздный мир», 1989. – 118 с.*
3. *Юницкий, А.Э. Варианты конструктивных решений ЭкоКосмоДома / А.Э. Юницкий, С.А. Жарый // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 12 сент. 2020 г. / Астроинженерные технологии, Струнные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – С. 294–305.*
4. *Ефимов, П.П. Архитектура мостов / П.П. Ефимов. – М.: Информавтодор, 2003. – 288 с.*
5. *Viaduc de Millau [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://stroyone.com/stroitelstvo-mostov/vantovye-mosty/viaduk-mijo-millau.html. – Дата доступа: 04.09.2021.*
6. *Петропавловский, А.А. Проектирование металлических мостов / А.А. Петропавловский, Н.Н. Богданов, Н.Г. Бондарь. – М.: Транспорт, 1982. – 320 с.*
7. *Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1–4. Общие воздействия. Ветровые воздействия: ТКП EN 1991-1-4-2009 (02250). – Введ. 10.12.2009. – Минск: Минстройархитектуры, 2010. – 120 с.*
8. *Пичугин, С.Ф. Нормирование ветровой нагрузки на решётчатые опоры в стандартах разных стран мира / С.Ф. Пичугин, А.В. Махинько // Металлические конструкции. – 2009. – Т. 4, № 15. – С. 237–252.*
9. *Шерман, С.И. Сейсмические пояса и зоны Земли: формализация понятий, положение в литосфере и структурный контроль / С.И. Шерман, О.Г. Злогодухова // Геодинамика и тектонофизика. – 2011. – Т. 2, № 1. – С. 1–34.*
10. *Global CMT Web Page [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.globalcmt.org/. – Date of access: 04.09.2021.*
11. *Volcano Discovery [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.volcanodiscovery.com/home.html. – Date of access: 04.09.2021.*
12. *Еврокод 8. Проектирование сейсмостойких конструкций. Часть 1. Общие правила, сейсмические воздействия и правила для зданий: ТКП EN 1998-1-2011 (02250). – Введ. 05.12.2011. – Минск: Минстройархитектуры, 2013. – 158 с.*
13. *Анализ конструктивной формы антенных опор радиорелейной связи / Е.В. Горохов [и др.] // Металлические конструкции. – 2010. – Т. 16, № 1. – С. 41–50.*

УДК 004.942

Защита общепланетарного транспортного средства от метеороидов и космического мусора

Юницкий А.Э.[1,2]
Пронкевич С.А.[2,3]
Овсянко В.А.[2]

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

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

[3] Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

Из-за постоянного роста числа космических аппаратов (КА) непрерывно растёт количество космического мусора (КМ) в околоземном пространстве. Движущиеся на высоких скоростях частицы метеороидов и техногенных обломков представляют серьёзную угрозу для летательных аппаратов, находящихся на околоземных орбитах. Уникальное по своей конструкции и габаритам общепланетарное транспортное средство (ОТС) планируется эксплуатировать на орбите продолжительное время, из-за чего возрастает вероятность его столкновения с различным КМ. Для безопасного функционирования ОТС необходимо обеспечить надёжную защиту его оболочки от КМ. В данной статье выполнен анализ космических объектов, создающих опасность для ОТС на рабочей орбите. Показаны типичные размеры и скорости частиц КМ. Предложены варианты защитных конструкций ОТС в зависимости от степени критичности последствий встречи с метеороидами. На основании предельных баллистических уравнений подобраны параметры защиты от КМ размером 2 мм. Для определения стойкости корпуса ОТС при соударении с частицами КМ размером 5 мм проведено численное моделирование баллистических испытаний в пакете конечно-элементного анализа LS-DYNA с использованием метода сглаженных частиц. Для описания поведения материалов применялись модели Джонсона – Кука и Купера – Саймондса. Верификация моделей и подходов выполнена при помощи сравнения результатов моделирования с представленными в открытых источниках данными натурных испытаний пробития фрагмента стенки бака спутника «Спектр-УФ».

Ключевые слова:
общепланетарное транспортное средство (ОТС), космический мусор (КМ), высокоскоростное повреждение, противометеороидная защита, метод конечных элементов, численное моделирование.

Введение

При проектировании космических аппаратов (КА) необходимо учитывать их сложные условия работы и нагрузки, которым будет подвергаться конструкция в процессе эксплуатации. К таким параметрам относятся большие температурные перепады, глубокий вакуум, вибрация, космическая и солнечная радиация, а также последствия от воздействия космического пространства в виде высокоскоростных космических объектов. Все перечисленные факторы оказывают влияние на конструкцию длительное время и должны приниматься во внимание при проектировании корпуса общепланетарного транспортного средства (ОТС) [1]. Важно, чтобы оболочка ОТС надёжно защищала саму конструкцию, размещённое внутри оборудование, грузы и, прежде всего, пассажиров. При этом корпус ОТС должен обладать минимальной массой и быть технологичным в производстве [2].

Космические объекты, представляющие угрозу для КА, можно разделить на две категории: естественные метеорные тела (метеороиды) и искусственные фрагменты орбитального космического мусора (КМ). Метеороиды – это частицы комет и астероидов, движущиеся по орбите вокруг Солнца и имеющие среднюю скорость на околоземной орбите порядка 19 км/с. Плотность таких небесных тел – от 0,5 г/см^3 до 2 г/см^3. КМ состоит в основном из нефункциональных частей КА, находящихся на орбите Земли (металлические осколки, краска, оксид алюминия и др.). Скорость движения подобных объектов, как правило, ниже, чем у метеороидов, и в среднем составляет 8–9 км/с на высоте около 400 км. Обычно плотность частиц КМ равна 2,8 г/см^3 [3–5].

Определение параметров защиты корпуса ОТС от космического мусора

Описание типов противометеороидной защиты ОТС

Для выбора параметров защиты ОТС от КМ на этапе проектирования предлагается разделить конструкцию защитных экранов на три типа (по критичности последствий пробоя корпуса):

- минимально необходимая защита от наиболее распространённого КМ, присутствующего на орбите ОТС (защита от частиц размером до 2 мм). В данном случае повреждение корпуса несущественно и не влияет на функционирование ОТС в целом;
- защита систем, сбой в которых может со временем повлиять на работу ОТС (защита от частиц размером до 5 мм);
- защита участков корпуса ОТС. Их пробой приводит к выходу из строя основных систем, без которых невозможна дальнейшая эксплуатация ОТС (защита от частиц размером более 1 см).

КМ более 10 см отслеживается с Земли. Информация о подобных объектах содержится в специальных каталогах, а траектория движения рассчитывается программами. Последствия столкновения крупных частиц с корпусом КА носят катастрофический характер, поэтому для исключения соударения применяется активная защита (уход на другую орбиту).

При создании защитных экранов используются высокопрочные металлы и их сплавы, металлокомпозиты, пористые, волокнистые и другие материалы, к которым выдвигаются следующие требования: минимальная плотность, высокие вязко-пластичные свойства и твёрдость. Наиболее распространёнными в производстве защитных экранов являются алюминиевые сплавы, титан и сталь. Для дальнейшего исследования защитных свойств экранов будут приняты листы из алюминиевых сплавов как самые популярные по соотношению цены/качества, алюминиевая пена как один из самых энергоёмких материалов и сетки из стальной проволоки, имеющие хорошие прочностные свойства при низкой поверхностной плотности.

Защита от космического мусора размером 2 мм

Наиболее простая защита от КМ – однослойные экраны, толщина P которых с достаточной степенью точности может быть определена по баллистической формуле [6]:

$$P = 5{,}24\, d_ч^{\frac{19}{18}} HB^{-0{,}25} \left(\frac{\rho_ч}{\rho_{ст}}\right)^{0{,}5} (V\cos\theta)^{\frac{2}{3}}, \qquad (1)$$

где $d_ч$ – диаметр частицы, см;

HB – твёрдость по Бринеллю материала щита;

$\rho_ч$, $\rho_{ст}$ – плотность материала частицы и стенки соответственно, г/см^3;

V – скорость движения частицы, км/с;

θ – угол воздействия частицы по отношению к нормали поверхности щита, рад.

Условие непробития одиночной монолитной стенки [6]:

$$\delta_{ст} \geq 1{,}8P. \qquad (2)$$

При движении по орбите ОТС частицы КМ (средняя скорость движения – 8 км/с; диаметр – 2 мм) толщина $\delta_{ст}$ стенки экрана в соответствии с выражением (1) и условием (2):

$$\delta_{ст} \geq 1{,}8 \times 5{,}24\, d_ч^{\frac{19}{18}} HB^{-0{,}25} \left(\frac{\rho_ч}{\rho_{ст}}\right)^{0{,}5} (V\cos\theta)^{\frac{2}{3}}. \qquad (3)$$

В результате вычислений получается, что при взаимодействии частицы с экраном по нормали толщина стенки должна быть не меньше:

$$\delta_{ст} \geq 1{,}8 \times 5{,}24 \times 0{,}2^{\frac{19}{18}} \times 95^{-0{,}25} \left(\frac{2{,}8}{2{,}7}\right)^{0{,}5} (8\cos 0)^{\frac{2}{3}} \geq 1{,}25 \text{ см}.$$

При этом значение поверхностной плотности защитного экрана составит 33,8 кг/м^2.

Несмотря на простоту и низкую стоимость, в настоящее время практически не используются однослойные экраны из-за их большой массы. Гораздо эффективнее применять многослойные щиты (щиты Уиппла), способные выдерживать удар относительно крупных частиц КМ. Первый экран (бампер) делают тонким; его основное назначение – разбить высокоскоростную частицу КМ на множество фрагментов и максимально рассеять их за бампером с целью распределения по большей площади нагрузки на следующую стенку.

Толщина $t_б$ бампера может быть определена по формуле [6]:

$$t_б = c_б d_ч \times \frac{\rho_ч}{\rho_б}, \qquad (4)$$

где $c_б$ = 0,25 при 15 > $S/d_ч$ < 30 или $c_б$ = 0,2 при $S/d_ч \geq 30$;

S – расстояние между бампером и основной стенкой, см.

Таким образом, при S = 4 см толщина бампера может быть принята:

$$t_б = 0{,}25 \times 0{,}2 \times \frac{2{,}8}{2{,}7} = 0{,}052 \text{ см}.$$

Толщина t_w основной стенки [6]:

$$t_w = c_w d_ч^{0{,}5} (\rho_ч \times \rho_{ст})^{\frac{1}{6}} m_ч^{\frac{1}{3}} \left(V \times \frac{\cos\theta}{S^{0{,}5}}\right)\left(\frac{70}{\sigma_y}\right)^{0{,}5}, \qquad (5)$$

где c_w – коэффициент, равный 0,16 см^{2}с/(г$^{2/3}$км);

$m_ч$ – масса частицы КМ. Для алюминиевой сферы диаметром 0,2 см масса частицы составит 0,01173 г;

σ_y – предел текучести материала, для Al 6061-T6 равен 40 ksi.

При расстоянии S = 4 см толщина основной стенки будет иметь значение:

$$t_w = 0{,}16 \times 0{,}2^{0{,}5} (2{,}8 \times 2{,}7)^{\frac{1}{6}} \times 0{,}01173^{\frac{1}{3}} \left(8 \times \frac{\cos 0}{4^{0{,}5}}\right)\left(\frac{70}{40}\right)^{0{,}5} =$$

$$= 0{,}17 \text{ см}.$$

Таким образом, для защиты корпуса ОТС от КМ размером 2 мм могут быть применены два экрана толщиной 0,5 мм и 1,7 мм, разнесённые в пространстве на 40 мм. При этом суммарная толщина материала двух стенок составит 2,2 мм, поверхностная плотность уменьшится более чем в пять раз по сравнению с однослойным экраном и будет равняться 6 кг/м^2.

Защита от космического мусора размером 5 мм

Для защиты корпуса ОТС от частиц размером 5 мм необходимо увеличивать толщину стенок или их количество, что приведёт к существенному повышению массы экрана, а значит, к снижению полезной нагрузки ОТС. К тому же установка нескольких экранов расширяет корпус и усложняет конструкцию за счёт использования креплений. Более эффективны защитные экраны, выполненные в виде сэндвич-панелей, т. е. панелей, состоящих из слоёв различных материалов. В качестве заполнителя между бампером и основными листами могут быть задействованы сотовые панели из алюминия или углепластика, гофрированные листы, сетки с разной толщиной проволоки и различным просветом, преграды из армированной пластмассы, металлическая пена или слои тканых материалов (Кевлар, Армос, Nextel и др.). Существующие баллистические уравнения не способны охватить такое разнообразие вариантов защитных экранов, поэтому подобные конструкции нужно проверять в лабораторных условиях. Эксперименты проходят в виде обстрела исследуемых панелей из легкогазовых пушек, позволяющих разгонять ударник до скорости 8 км/с. Проведение многочисленных испытаний в большом диапазоне размеров и скоростей ударников, материалов, толщин и их вариантов чередования требует огромных материальных и временны́х ресурсов. Соответственно, расчёт конструкции защитного экрана от КМ размером 5 мм выполняется посредством численного моделирования. Предварительно следует осуществить верификацию моделей по результатам натурных экспериментов, представленных в открытых источниках.

Моделирование соударения космического мусора с защитой ОТС

Описание решателя и метода моделирования

Для проведения расчётов пробиваемости защитных экранов задействован программный комплекс ANSYS LS-DYNA, предназначенный для проведения нелинейных динамических расчётов. Моделирование выполнялось явным методом с применением Лагранжевого решателя как наиболее точного и эффективного. Поскольку при соударении с космическими обломками имеют место большие деформации и происходит разрушение, при котором наблюдается фрагментация КМ на мелкие частицы,

то при моделировании предпочтительнее бессеточный метод SPH (Smooth Partical Hydrodynamics), позволяющий совершить расчёт с произвольными деформациями при сохранении преимуществ Лагранжевого подхода [7, 8].

В задачах высокоскоростного соударения модель материала должна содержать упругопластическую деформацию и разрушение. Для описания поведения материалов при высоких скоростях деформирования выбраны две наиболее часто используемые для этих задач модели: Джонсона – Кука и Купера – Саймондса.

Модель Джонсона – Кука учитывает деформационное упрочнение и зависимость напряжения от скорости деформирования и температуры. Предел текучести σ_y определяется по формуле:

$$\sigma_y = (A + B\varepsilon_p^n)\left(1 + c\ln\frac{\dot{\varepsilon}_p^n}{\dot{\varepsilon}_0}\right)\left(1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r}\right)^m\right), \quad (6)$$

где A, B, c, n, m, ε_0 – параметры модели;

ε_p – эффективная пластическая деформация;

T – текущая температура;

T_r – комнатная температура;

T_m – температура плавления.

Модель упрочнения Купера – Саймондса позволяет показать пластическую деформацию с разрушением и учитывает влияние скорости деформации на величину предела текучести [9, 10]:

$$\sigma_y = \sigma_0\left(1 + \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{C}\right)^{\frac{1}{P}}\right), \quad (7)$$

где σ_0 – статический предел текучести;

$\dot{\varepsilon}$ – скорость деформации;

C, P – константы материала.

Для описания связи между давлением и объёмом материала в процессе ударного сжатия используется уравнение состояния Ми – Грюнайзена [11]:

$$p = \frac{\rho_0 C_0^2 \mu\left(1 + \left(1 - \frac{\gamma_0}{2}\right)\mu - \frac{a}{2}\mu^2\right)}{\left(1 - (S_1 - 1)\mu - S_2\frac{\mu^2}{\mu + 1} - S_3\frac{\mu^3}{(\mu + 1)^2}\right)^2} + (\gamma_0 + a\mu)E, \quad (8)$$

где ρ_0 – начальная плотность;

C_0 – объёмная скорость звука;

μ – номинальная объёмная деформация сжатия, определяемая как $\mu = \rho_0/\rho - 1$;

ρ – плотность;

γ_0 – коэффициент Грюнайзена;

a – коэффициент коррекции объёма;

S_i – коэффициент наклона ударной адиабаты;

E – внутренняя энергия.

Верификация модели

Необходимое условие моделирования высокоскоростного удара, последствием которого является разрушение, – наличие верифицированной модели поведения материалов при заданных параметрах нагружения. Для верификации используемых математических моделей было выполнено численное моделирование пробития фрагмента бака спутника «Спектр-УФ» алюминиевой сферой диаметром 2 мм (рисунок 1).

Результаты моделирования представлены на рисунке 2.

В ходе моделирования передняя стенка разрушилась. Её фрагменты и осколки ударника распределились по площади основной стенки (рисунок 2), вызвав деформацию, однако разрушения не произошло. Результаты моделирования хорошо согласуются с экспериментальными данными, представленными в источниках [10, 12], что указывает на возможность использования выбранных параметров моделей материалов.

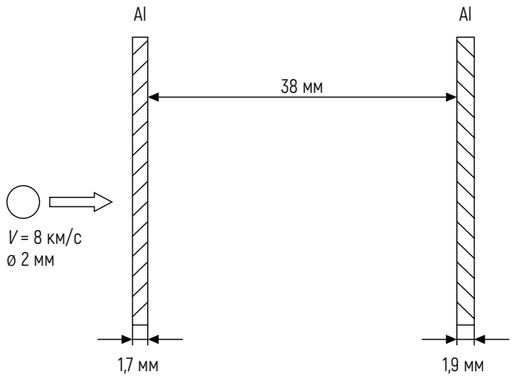


Рисунок 1 – Схема вычислительного эксперимента пробития фрагмента бака

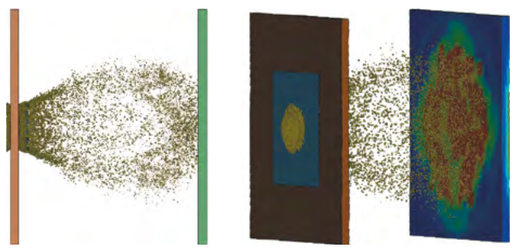


Рисунок 2 – Моделирование удара сферы диаметром 2 мм о стенку бака

Моделирование защиты от космического мусора размером 2 мм

По формулам (4) и (5) определены толщина бампера (0,5 мм) и основной стенки корпуса ОТС (1,7 мм). Начальная скорость частицы КМ – 8 км/с. Моделирование аналогично схеме, представленной выше.

Результаты моделирования пробоя защиты с двумя стенками показаны на рисунке 3.

В результате соударения с космическими обломками бампер пробивается, а основная стенка сохраняет целостность, что соответствует результатам, полученным по аналитическим формулам.

Моделирование защиты от космического мусора размером 5 мм

Для защиты корпуса ОТС от КМ размером 5 мм помимо двух экранов выбранных размеров необходимо дополнительно вводить материал с больши́м энергопоглощением, например алюминиевую пену.

Для моделирования пеноалюминия использовалась следующая модель материала – тип 63 *MAT_CRUSHABLE_FOAM пакета LS-DYNA [13–15].

Для верификации модели данного материала выполнено моделирование натурного эксперимента WSTF04-38187 [16]: алюминиевый пробойник в форме сферы диаметром 4 мм с начальной скоростью 6,79 км/с соударялся с экраном, который изготовлен в виде сэндвич-панели, состоящей из двух листов алюминия толщиной 0,254 мм и пеноалюминия с пористостью 40 ppi и толщиной 50,8 мм, расположенного между листами алюминия (рисунок 4).

В ходе численного эксперимента определена глубина проникновения алюминиевой сферы в пеноалюминий – 46 мм (рисунок 4). Результат моделирования хорошо согласуется с данными натурного эксперимента, что указывает на адекватность принятых параметров модели материала.

Для моделирования защиты от КМ размером 5 мм принимаем толщину для бампера – 1 мм и основной стенки – 2 мм (рисунок 5). Между ними устанавливается панель из пеноалюминия толщиной 60 мм (толщина панели будет скорректирована по итогам моделирования). Для снижения скорости соударения и начальной фрагментации пробойника перед экраном устанавливается два ряда стальной сетки из материала 20Х13 (толщина проволоки – 0,9 мм; просвет ячейки – 1 мм) [17].

Как видно из рисунка 5, происходит разрушение сетки и бампера. Фрагментированные части сферы проникают в пеноалюминий на глубину 48 мм. Основная стенка остаётся целой.

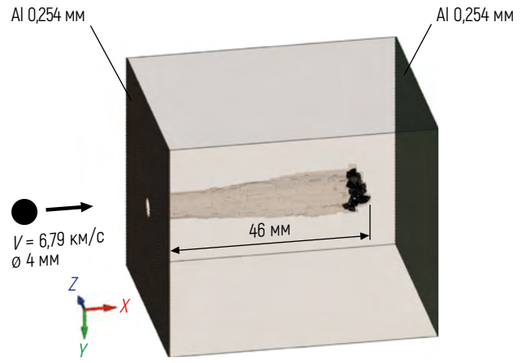


Рисунок 4 – Пробой панели из пеноалюминия

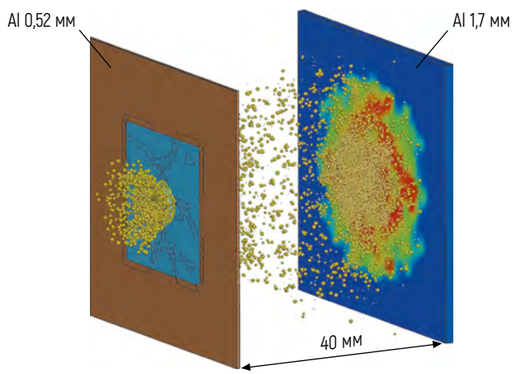


Рисунок 3 – Моделирование защиты от КМ размером 2 мм

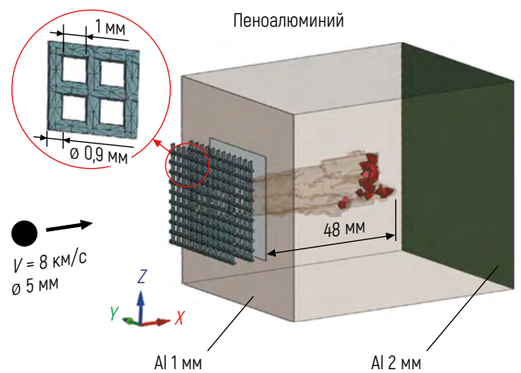


Рисунок 5 – Пробой панели из пеноалюминия (с двумя рядами сетки)

Результаты моделирования показали, что допустимо уменьшение толщины панели из пеноалюминия до 50 мм. Принятая конструкция защитного экрана может быть применена для защиты корпуса ОТС от КМ размером до 5 мм.

Защита от космического мусора размером более 10 мм

Защитные экраны от КМ размером более 10 мм изготавливаются в виде сэндвич-панелей, состоящих из трёх и более алюминиевых листов, пеноалюминия и нескольких десятков слоёв тканых материалов (Кевлар/Nextel). Толщина указанных экранов может достигать от одного до нескольких десятков сантиметров, что обусловлено размером КМ. Осуществление численного моделирования подобных конструкций – сложный и трудоёмкий процесс.

Разработку данной защиты предлагается выполнить на более поздних этапах проектирования, когда будет создана и проанализирована конструктивно-компоновочная схема ОТС и обозначена необходимость в такой защите.

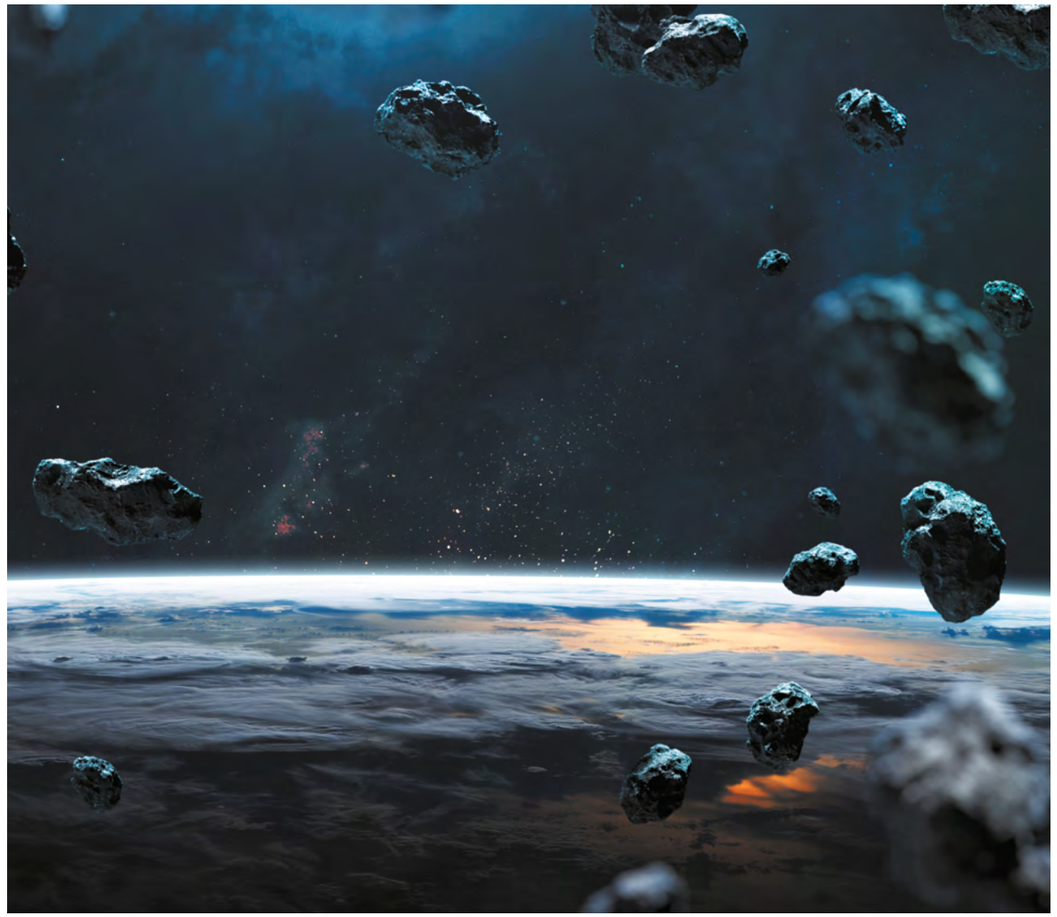
Заключение

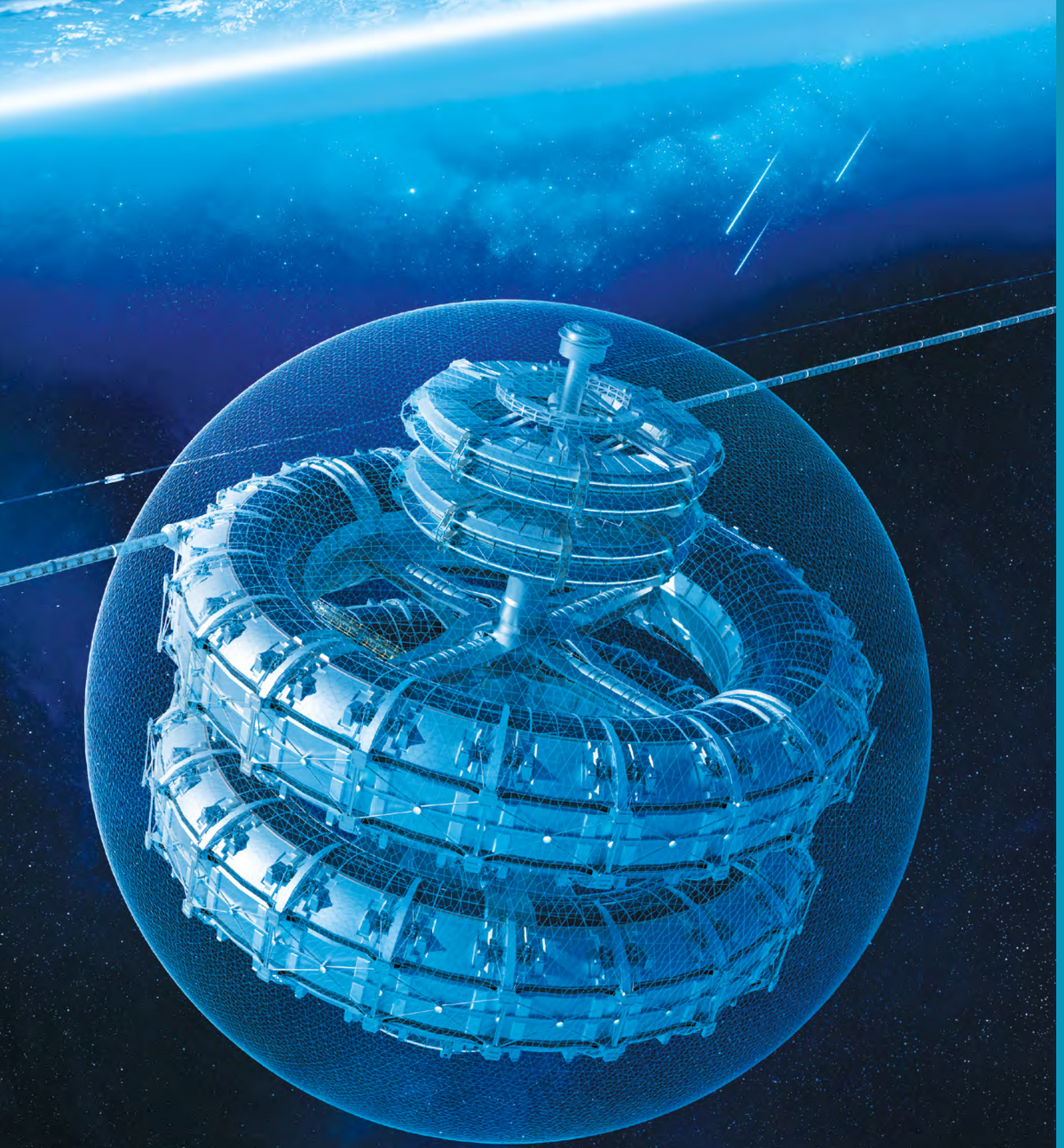
Цель настоящей статьи – установление параметров противометеороидной защиты корпуса ОТС от КМ. Для получения требуемой информации систематизированы основные характеристики частиц КМ на орбите эксплуатации ОТС: определены и использованы в дальнейших расчётах средняя скорость 8 км/с и плотность 2,8 г/см^3 частиц КМ. В зависимости от степени критичности последствий соударения с КМ конструкция противометеороидной защиты разделена на три типа: защита от КМ размером 2 мм, 5 мм, 10 мм и более. С помощью эмпирических предельных баллистических уравнений предложены толщины алюминиевых стенок, способных защитить ОТС от КМ размером до 2 мм, – 0,52 мм и 1,7 мм. Для защиты корпуса ОТС от КМ размером до 5 мм оптимальна алюминиевая пена пористостью 40 ppi как основной энергопоглощающий материал, а в качестве первого барьера – экран, который состоит из двух рядов сетки, изготовленной из нержавеющей стали. Эффективность выбранных конструкций защиты от КМ подтверждена моделированием баллистических испытаний в пакете LS-DYNA методом сглаженных частиц с применением моделей материалов, учитывающих изменение напряжений в зависимости от скорости деформации, а именно моделей Джонсона – Кука и Купера – Саймондса.

Для проверки адекватности рассматриваемых моделей материалов и методов моделирования проведена верификация итогов моделирования с результатами натурных испытаний (в процессе пробития стенки бака спутника «Спектр-УФ»). Полученные данные согласуются между собой и позволяют сделать вывод о возможности использования выбранных подходов для моделирования высокоскоростного пробоя конструкций противометеороидной защиты.

Литература

1. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.: ил.*
2. *Введение в ракетно-космическую технику: в 2 т. / А.П. Аверьянов [и др.]; под общ. ред. Г.Г. Вокина. – М. [и др.]: Инфра-Инженерия, 2018. – Т. 2: Космические аппараты и их системы. Проектирование и перспективы развития ракетно-космических систем. – 444 с.*
3. *Handbook for Designing MMOD Protection / E.L. Christiansen [et al.]. – Houston: Lyndon B. Johnson Space Center, 2009. – 136 p.*
4. *Christiansen, E.L. Meteoroid/Debris Shielding / E.L. Christiansen. – Houston: Lyndon B. Johnson Space Center, 2003. – 114 p.*
5. *Космическая среда (естественная и искусственная). Модель пространственно-временного распределения плотности потоков техногенного вещества в космическом пространстве: ГОСТ Р 25645.167-2005. – Введ. 01.01.2006. – М.: Стандартинформ, 2005. – 42 с.*
6. *Ryan, S. Micrometeoroid and Orbital Debris (MMOD). Shield Ballistic Limit Analysis Program / S. Ryan, E.L. Christiansen. – Houston: Johnson Space Center, 2010. – 88 p.*
7. *Зеленцов, В.В. Численное моделирование методом SPH взаимодействия фрагментов космического мусора с элементами конструкций космических аппаратов / В.В. Зеленцов, А.В. Маханьков // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2017. – № 5. – С. 42–56.*
8. *SPH Modeling of High Velocity Impact into Ballistic Gelatin. Development of an Axis-Symmetrical Formulation / H. Frissane [et al.] // Mechanics of Advanced Materials and Structures. – 2019. – Vol. 26, No. 6. – P. 1881–1888.*
9. *Selyutina, N.S. Prediction of the Dynamic Yield Strength of Metals Using Two Structural-Temporal Parameters / N.S. Selyutina, Y.V. Petrov // Physics of the Solid State. – 2018. – Vol. 60, No. 2. – P. 244–249.*
10. *Кинеловский, С.А. Модель поведения алюминия и смесей на его основе при ударно-волновом воздействии / С.А. Кинеловский, К.К. Маевский // Теплофизика высоких температур. – 2014. – Т. 52, № 6. – С. 843–851.*
11. *LS-DYNA Keyword User's Manual. Vol. II. Material Models. – Livermore: LSTC, 2019. – 1613 p.*
12. *Герасимов, А.В. Защита космических аппаратов от техногенных и естественных осколков. Эксперимент и численное моделирование / А.В. Герасимов, С.В. Пашков, Ю.Ф. Христенко // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. – 2011. – № 4 (16). – С. 70–78.*
13. *Ballistic Impact Experiments of Metallic Sandwich Panels with Aluminium Foam Core / W. Hou [et al.] // International Journal of Impact Engineering. – 2010. – Vol. 37, No. 10. – P. 1045–1055.*
14. *Validation of Constitutive Models Applicable to Aluminium Foams / A.G. Hanssen [et al.] // International Journal of Mechanical Sciences. – 2002. – Vol. 44, No. 2. – P. 359–406.*
15. *Compressive Behaviour of Closed-Cell Aluminium Foam at Different Strain Rates / N. Novak [et al.] // Materials. – 2019. – Vol. 12, No. 24. – P. 1–16.*
16. *Yasensky, J. Hypervelocity Impact Evaluation of Metal Foam Core Sandwich Structures / J. Yasensky, E.L. Christiansen. – Houston: Lyndon B. Johnson Space Center, 2007. – 110 p.*
17. *Сетки с квадратными ячейками из стальной рифлёной проволоки. Технические условия: ГОСТ 3306-88. – Взамен ГОСТ 3306-70; введ. 01.01.1990. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 12 с.*





УДК 004.942

Метеоритная защита инфраструктуры ближнего космоса на примере ЭкоКосмоДома

Юницкий А.Э.[1,2]
Шаршов Р.А.[2]
Жарый С.А.[2]

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

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

Длительное пребывание объектов на орбите Земли неизбежно ведёт к их повреждению мелкими и крупными метеороидами, а также мусором, скопившимся там за время деятельности человека. С учётом соответствующих для таких орбитальных элементов космических скоростей столкновение с ними вызывает повреждения, которые могут быть критическими или даже фатальными для объектов на орбите. В работе рассматриваются две основные системы защиты орбитальных объектов на примере ЭкоКосмоДома (ЭКД) – активная и пассивная. Активная система включает в себя создание мощного электростатического поля для предотвращения подобных инцидентов. Пассивная система – сетка и многослойная оболочка, поглощающие и рассеивающие энергию удара.

Ключевые слова:
пассивная система защиты, космический мусор, метеороид, оболочка цилиндра, ЭкоКосмоДом (ЭКД).

Введение

При осуществлении любой деятельности в непригодных для проживания людей условиях (на глубине океана, в космосе, на поверхности других планет) необходимо предусмотреть укрытие, которое позволит человеку комфортно жить и работать. Защитная оболочка создаётся в зависимости от характеристик внешней агрессивной среды.

В космосе такими параметрами являются отсутствие пригодной для дыхания атмосферы, невесомость, космические излучения, а также объекты, имеющие высокую относительную скорость. Космическая активность человечества привела к появлению огромного количества мусора, движущегося по околоземным орбитам с первой космической скоростью. Среди нефункционирующих остатков встречаются фрагменты разрушенных спутников, части оболочек ракет, инструменты и др. Все известные объекты в режиме реального времени можно посмотреть в открытом доступе [1].

На рисунке 1 чётко видна геостационарная орбита, скопление объектов на переходных орбитах. На рисунке 2 показано большое количество тел, находящихся на низких околоземных орбитах.

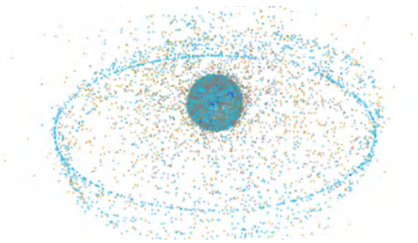


Рисунок 1 – Общий вид околоземного пространства с известными объектами на орбите (данные на 10.04.2021) [1]

Рисунок 2 – Объекты в ближнем околоземном пространстве (данные на 10.04.2021) [1]

Так как ЭкоКосмоДом (ЭКД) в составе космического индустриального ожерелья «Орбита» (КИО «Орбита») [2] будет функционировать на низкой околоземной орбите, выполнен в том числе анализ объектов, располагающихся на ней.

В настоящее время количество спутников и космического мусора на низких околоземных орбитах находится на грани синдрома Кесслера [3], при котором любая авария на орбите может привести к фатальным последствиям в виде неконтролируемого роста обломков и вызвать разрушение большей части используемых искусственных спутников Земли.

Пример такого опасного исхода – столкновение спутников «Космос-2251» и Iridium 33 [4]. Инцидент произошёл 10 февраля 2009 г. на высоте 805 км с относительной скоростью 11,5 км/с. В результате данной катастрофы образовалось более 600 оставшихся на прежних орбитах крупных обломков и около 1800 разлетевшихся по всевозможным траекториям мелких фрагментов, которые удалось каталогизировать. После первого оборота вокруг планеты схема расположения обломков приняла вид, показанный на рисунке 3.

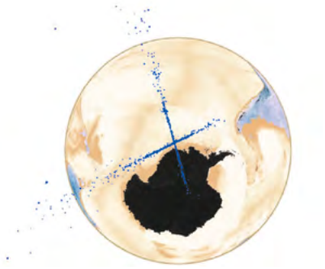
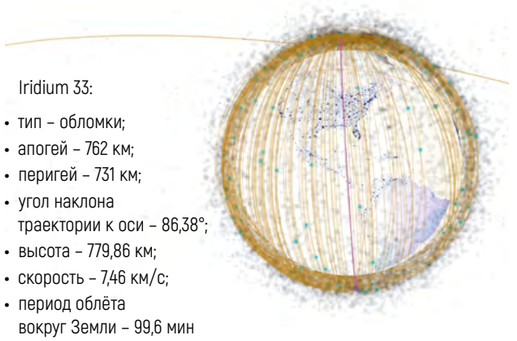


Рисунок 3 – Схема расположения обломков, образовавшихся в результате столкновения спутников «Космос-2251» и Iridium 33 (спустя 50 мин после аварии) [5]

Через девять лет схема траекторий движения обломков изменилась (рисунок 4).

Образовавшиеся только после данной аварии обломки несут угрозу как околоземному пространству, так и самой Земле, поскольку присутствуют на орбитах, на которых имеются старые, произведённые в СССР космические аппараты с миниатюрными ядерными реакторами на борту [6]. Представляется опасность также и для Международной космической станции; в 2012 г. ей пришлось совершить манёвр ухода от столкновения с обломками спутника Iridium 33 [7].



Iridium 33:

- тип – обломки;
- апогей – 762 км;
- перигей – 731 км;
- угол наклона траектории к оси – 86,38°;
- высота – 779,86 км;
- скорость – 7,46 км/с;
- период облёта вокруг Земли – 99,6 мин

Рисунок 4 – Схема траекторий движения обломков спутника Iridium 33 (спустя девять лет после аварии) [1]

На сегодняшний день не существует эффективных методов борьбы с космическим мусором. Для того чтобы спасти находящиеся на орбите космические аппараты, выполняются регулярные манёвры уклонения от встречи со всевозможными объектами искусственного и естественного происхождения. Предложенные разработки или оказываются нерезультативными, или ещё более усугубляют ситуацию [8]. Так, только 13 испытаний противоспутникового оружия привели к возникновению 10 % всего отслеживаемого мусора на орбите [8].

В настоящей работе рассматривается возможность создания активной системы защиты (АСЗ) на основе технологии электростатического оружия [9], которая для уничтожения или сведения с орбиты мусора использует фактор направленного электрического разряда.

Кроме АСЗ, для того чтобы защитить конструкции общепланетарного транспортного средства (ОТС) [2], жилые и производственные модули, также предлагается использовать многослойную броню, предотвращающую проникновение инородных тел за оболочку ЭКД.

Описание общих принципов активной системы защиты

АСЗ представляет собой генератор электростатического поля, при прохождении которого отрицательно заряженные обломки космического мусора создают в нём резонансные колебания. Из-за высокой разницы потенциалов от генератора до объекта образуется коронный разряд. Для формирования поля частиц и возможности появления разряда предполагается частичное испарение проводника или создание любого другого искусственного поля ионизированных частиц внутри электростатического поля.

Подобная защитная система предусматривается для частиц массой менее 1 кг как наиболее распространённых типов обломков на низких околоземных орбитах.

Общий принцип работы системы по воздействию частиц приведён в расчёте, представленном ниже. Показаны только основные формулы и параметры расчёта.

Исходные данные:

M = 1 кг (вес тела);

V = 10 000 м/с (скорость тела);

R_{st} = 250 м (радиус станции – цилиндрического корпуса ЭКД).

Кинетическая энергия вычисляется по формуле (1):

$$E_k = 0{,}5\ MV^2. \qquad (1)$$

Расстояние для отклонения тела на необходимую траекторию в зависимости от приложенной энергии вычисляется по формуле (2):

$$R(E_{ot}) = \frac{\sqrt{R_{st}\left(E_k^2 + E_{ot}^2\right)}}{E_{ot}} - R_{st}, \qquad (2)$$

где E_k – кинетическая энергия объекта, Дж;

E_{ot} – количество энергии, которое приложено к объекту для отклонения, Дж.

График функции принимает следующий вид (рисунок 5).

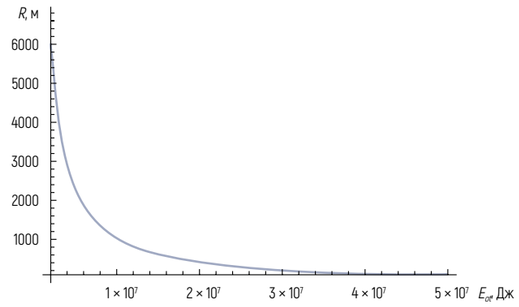


Рисунок 5 – График зависимости количества энергии от расстояния

Исходя из графика, можно говорить о количестве энергии, которое требуется на отклонение объектов массой 1 кг. Оптимальным с точки зрения затрат энергии является отклонение объектов на максимальном расстоянии,

однако даже в относительной близости от станции это вполне реально.

С более крупными угрозами должна справляться защитная оболочка ЭКД, имеющая дополнительные элементы, что рассматривается ниже.

Исходные данные

Оболочка ЭКД – многослойная конструкция. Первым рубежом защиты выступает сетка, выполненная из титановой проволоки. Свойства материала заданы в программном комплексе ANSYS и приведены в таблице 1.

Размер ячейки сетки после оптимизации составляет 250 × 250 мм, что позволяет блокировать основные угрозы, представляющие опасность для станции. Диаметр стержней сетки – 5 мм. Размеры сетки приняты из условия сдерживания небольших плоских элементов на основе анализа объектов, приведённых в интерактивном каталоге [1].

Сетка выполняет роль первичного сдерживающего рубежа, способного влиять на объекты-угрозы: замедлять их, снижая энергию, или частично повреждать. Подробно данные характеристики описаны ниже.

Вторым (основным) рубежом защиты для расчёта (первично) рассматривается стальная оболочка толщиной 100 мм, необходимая для гашения основной энергии, исходящей от объектов-угроз. Свойства материала приведены в таблице 2. Для моделирования процесса разрушения применяется полная модель Джонсона – Кука.

Таблица 1 – Свойства титанового сплава сетки [10, 11]

Наименование параметра	Значение параметра
Плотность, кг/мм^3	$4{,}51 \times 10^{-6}$
Удельная теплоёмкость при постоянном давлении, мДж/(кг·°C)	5×10^5
Параметры при ударе	
Параметр Грюнайзена	1,23
Параметр C_1, мм/с	$5{,}02 \times 10^6$
Параметр S_1	1,536
Квадратичный параметр S_2, с/мм	0
Прочность по Стейнбергу – Гуинану	
Начальный предел текучести, МПа	850
Максимальный предел текучести, МПа	1450
Константа упрочнения B	210
Экспонента упрочнения n	0,1
Производная dG/dP $G'(P)$	0,4991
Производная dG/dT $G'(T)$, МПа/°C	–26,99
Производная dY/dP $Y'(P)$	0,009775
Температура плавления, °C	1986,9
Модуль сдвига, МПа	43 400

Таблица 2 – Свойства стали оболочки [10, 11]

Наименование параметра	Значение параметра
Плотность, кг/мм^3	$7{,}83 \times 10^{-6}$
Удельная теплоёмкость при постоянном давлении, мДж/(кг·°C)	$4{,}77 \times 10^5$
Объёмный модуль, МПа	$1{,}59 \times 10^5$
Прочность по Джонсону – Куку	
Начальный предел текучести, МПа	690
Константа упрочнения, МПа	510
Экспонента упрочнения	0,26
Константа скорости деформирования	0,014
Константа температурного разупрочнения	1,03
Температура плавления, °C	1519,9
Эталонная скорость деформирования, с$^{-1}$	1
Модуль сдвига, МПа	81 800

Внутри за стальной оболочкой размещается многометровый слой специального «космического» грунта (плодородной почвы для растений) [12]. Свойства грунта указаны в таблице 3.

Таблица 3 – Свойства грунта-заполнителя [13]

Наименование параметра	Значение параметра
Плотность, кг/мм^3	$0{,}4 \times 10^{-6}$
Изотропные свойства грунта (на основе объёмного модуля упругости и модуля сдвига)	
Модуль деформаций, кПа	274 220
Коэффициент Пуассона	0,26134
Объёмный модуль упругости, кПа	191 500
Модуль сдвига, кПа	109 640
«Поверхность» разрушения грунта	
Начальный угол внутреннего трения, °	31
Начальная когезия, МПа	0,00038
Угол дилатансии, °	31
Редуцированный угол внутреннего трения, °	31
Редуцированная когезия, МПа	0,00019

Грунт рассматривается бессеточным методом SPH для возможности полной оценки поведения сыпучего элемента, имеющего слабые прочностные параметры.

Плавление грунта при переизбытке энергии при расчёте не учитывается. Внутри грунтового слоя (толщина – 10 м) находятся две перфорированные пластины (рисунок 6). Диаметр отверстий – 500 мм, шаг отверстий – 1000 мм по вертикали и горизонтали. Первая пластина расположена на расстоянии 5,2 м от внутренней поверхности оболочки, вторая – 7,6 м от неё же. Наличие данных пластин обуславливается необходимостью интерференции ударной волны, вызываемой столкновениями объектов-угроз со стенкой станции.

Толщина и материал интерференционных листов не играют значительной роли, так как они зажаты с двух сторон грунтом. Для моделирования процесса применяются алюминиевые листы толщиной 5 мм.

Средняя относительная скорость удара объекта о станцию – 15,32 км/с (скорость стабильных тел на низкой околоземной орбите высотой 400 км составляет приблизительно 7,66 км/с; в расчёте принимается сумма скоростей двух объектов, которые могут встретиться на данной высоте).

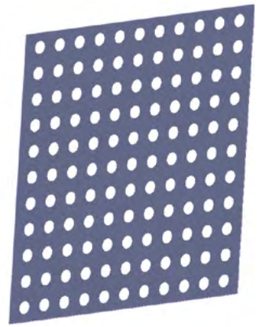


Рисунок 6 – Часть сетки с перфорацией

Такая относительная скорость примерно втрое выше скорости звука в металле и почти в 10 раз [14] больше скорости распространения звука в одной из возможных форм твёрдого углерода. Соответственно, использование других сплавов в расчётной модели даёт изменения на границе математической погрешности. Предельная скорость звука в твёрдом веществе возможна в алмазе (12–18,3 км/с [14]), однако экономически нецелесообразно делать из него корпус ЭКД.

В указанном случае скорость звука в материале является определяющим параметром. В твёрдом веществе она обуславливает скорость деформирования тела. Если скорость деформирования ниже скорости соударения двух тел, то избыточная прочность (если оболочка была бы изготовлена из цельного карбона) не имеет решающего значения. Не успев погасить удар за счёт толщины материала, эквивалентного по модулю упругости ударяемому телу, объект пробивает его насквозь, сохраняя бóльшую часть кинетической энергии (рисунок 7).

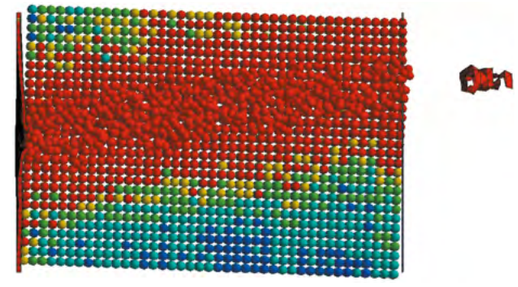


Рисунок 7 – Пробивание объектом тонкой оболочки и его сквозной выход из конструкции в жилую область ЭКД

Как можно видеть на рисунке 7, объект-угроза после прохождения через грунт сильно деформировался и частично разрушился, однако сохранил часть своей энергии, а значит, по-прежнему представляет серьёзную угрозу для внутреннего пространства станции. Сама же оболочка и слой «космической» почвы за ней претерпели минимальные изменения, за исключением сквозного отверстия, которое оставил объект-угроза.

Из вышесказанного следует, что толщина оболочки, принятая в качестве расчётной, станет шаблонным значением для дальнейших исследований и сравнений, пока не будут получены новые материалы, позволяющие уменьшить толщину элементов.

Схема рубежей защиты конструкции станции изображена на рисунке 8. Сама конструкция оболочки ЭКД приведена на рисунке 9.

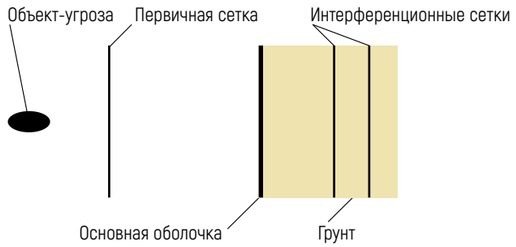


Рисунок 8 – Схема рубежей защиты ЭКД

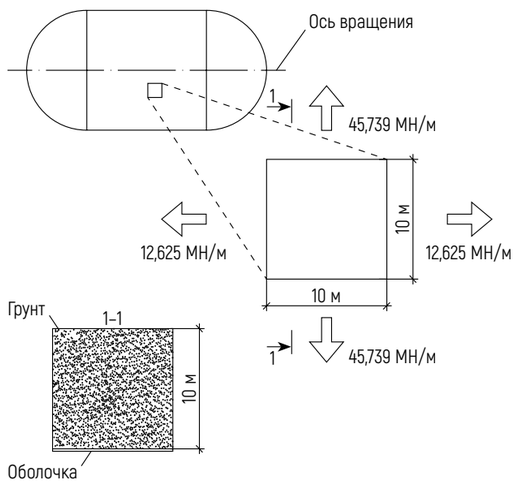


Рисунок 9 – Схема оболочки ЭКД, принятая при расчёте

В качестве основных объектов-угроз рассматриваются три варианта:

- металлическая балка массой 10 кг;
- металлическая удлинённая балка массой 100 кг;
- каменный метеороид с ферритовыми включениями массой 900 кг.

Отдельно для расчёта сетки принимается во внимание каменный метеороид с ферритовыми включениями массой 150 кг.

Такая выборка объектов сделана на основе статистического анализа данных, приведённых в каталоге орбитальных объектов [1].

Каменно-ферритный метеороид массой 900 кг взят как самый крупный объект; имеется вероятность пересечения его траектории с траекторией ЭКД. Тела большей массы крайне редки, и для них требуется разработка мероприятий, кардинально отличающихся от исследуемых в настоящей статье.

Мелкий метеороид (массой 150 кг) изучается как характерный объект, который может быть разрушен сеткой (если исходить из данных предварительных расчётов и исследований).

Результаты расчёта столкновений объектов с сеткой

Проанализируем характер взаимодействия объектов при ударе на примере небольшого каменного метеороида с ферритовыми включениями, проходящего через сетку. Масса объекта – 150 кг. Габаритные размеры – 170 × 570 × × 520 мм.

При попадании в сетку объект полностью разрезается стержнями (рисунки 10, 11).

Как показано на рисунках, сетка разрушается только частично, объект же полностью рассекается на составные части. Кроме этого, более мелкие фрагменты начинают менять траекторию по причине наличия включений в каменной глыбе.

Подобный характер поведения объясняется скоростью деформирования элемента и материала, из которого он выполнен. Некрупный объект не успевает оказать достаточного воздействия на сетку и порвать её, поскольку полностью режется ею. Деформация сетки происходит практически мгновенно, а разрывы обусловлены краевыми эффектами и включениями в состав метеороида металлических компонентов.

Энергия, которую теряет объект, показана на рисунке 12.

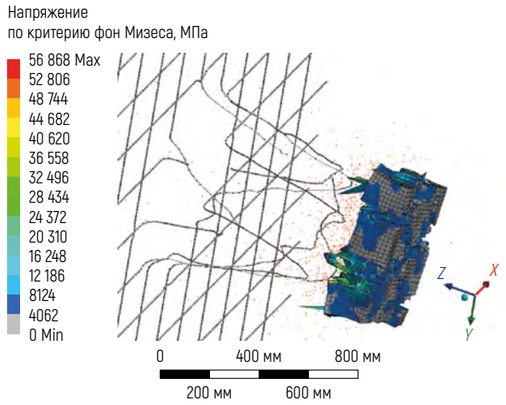


Рисунок 10 – Характер разрушения каменного объекта при попадании в сетку (вид сбоку)

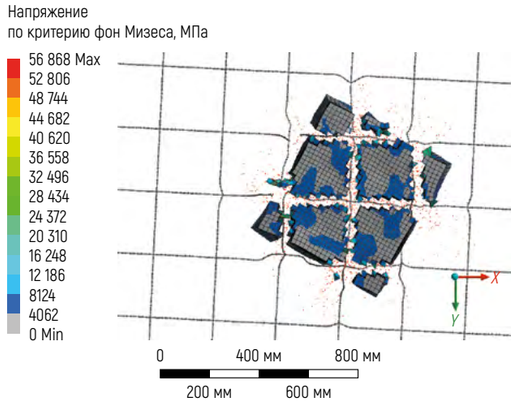


Рисунок 11 – Характер разрушения каменного объекта при попадании в сетку (фронтальный вид)

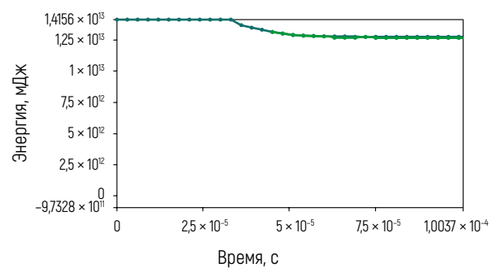


Рисунок 12 – График падения кинетической энергии (по времени) объекта, врезающегося в сетку

Суммарно начальная энергия системы – 1,4156 × 10^{13} мДж; конечная энергия (для всех объектов) – 1,27 × 10^{13} мДж. Падение энергии составляет 11,5 %. Учитывая полное разделение крупного объекта на мелкие, можно утверждать, что с подобными угрозами сетка справляется достаточно результативно.

При попадании более массивных метеороидов (весом 900 кг и выше) эффективность сетки значительно уменьшается. Для вытянутого (перпендикулярно плоскости сетки) объекта сетка не представляет серьёзного препятствия (рисунки 13, 14).

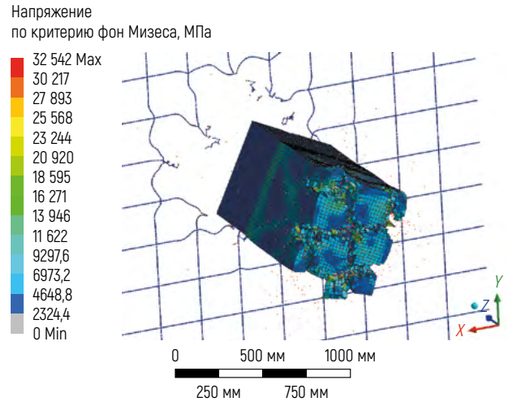


Рисунок 13 – Схема разрушения при попадании крупного объекта в сетку (вид со стороны поверхности удара)

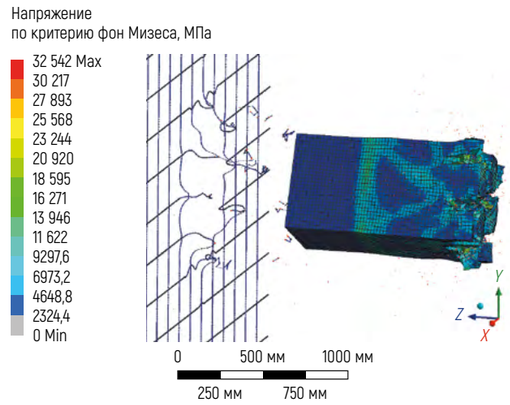


Рисунок 14 – Схема разрушения при попадании крупного объекта в сетку (вид сбоку)

За счёт особой формы объекта сетка прорезает только ту его часть, которая успевает пройти через неё до начала деформации. Затем повреждённая сетка неизбежно рвётся, а частично разрушенный объект движется дальше.

Падение энергии также не имеет существенного значения относительно общей энергии объекта – 2,5 %. До момента соприкосновения она составляла 9,7563 × 10^{13} мДж, после выхода из взаимодействия и стабилизации системы – 9,521 × 10^{13} мДж. График изменения энергии представлен на рисунке 15.

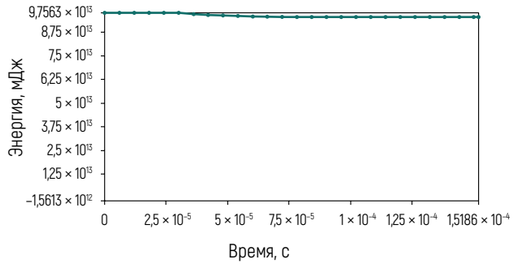


Рисунок 15 – График падения кинетической энергии (для крупного объекта)

Вместе с тем сетка способна обеспечить срезание острых выступающих углов и мелких частей крупного объекта, влекущих разрушительные последствия при попадании в основную часть защиты станции – стальную оболочку и грунт.

Сетка в первую очередь предназначена для разрезания больших объектов, имеющих высокую энергию, на незначительные фрагменты, которые не создают особой угрозы станции. Для вытянутых металлических объектов, летящих перпендикулярно плоскости сетки, она не представляет существенного препятствия, поэтому рвётся в местах касания, не успевая деформироваться. Однако сетка гарантирует серьёзную защиту при возникновении естественных опасностей в виде метеороидов.

Результаты расчёта столкновений объектов с основной оболочкой

Рассмотрим попадание каменно-ферритного метеороида весом 900 кг, который прошёл сквозь сетку первого уровня. Расчётная модель показана на рисунке 16.

Метеороид и грунт реализованы методом SPH; представляют собой наборы взаимосвязанных частиц с разными свойствами (параметры приведены выше).

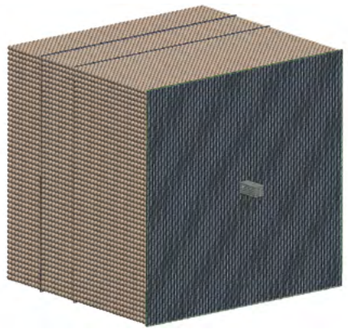


Рисунок 16 – Расчётная модель основной оболочки ЭКД при попадании крупного метеороида

При первичном попадании метеороида в конструкцию оболочки неизбежно образуется отверстие (рисунок 17).

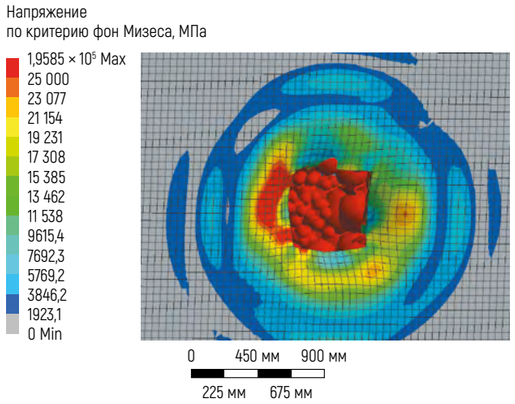


Рисунок 17 – Характер отверстия, возникающего в оболочке станции

Из-за избытка энергии невозможно остановить объект посредством оболочки вне зависимости от материала её изготовления. Об этом свидетельствует характер отверстия – практически идеально ровный край среза.

После попадания в оболочку метеороид формирует ударную волну, которая начинает распространяться по частицам грунта. Само тело метеороида полностью разрушается при контакте с «космической» почвой и продолжает движение отдельными частицами, теряя остатки энергии (рисунок 18).

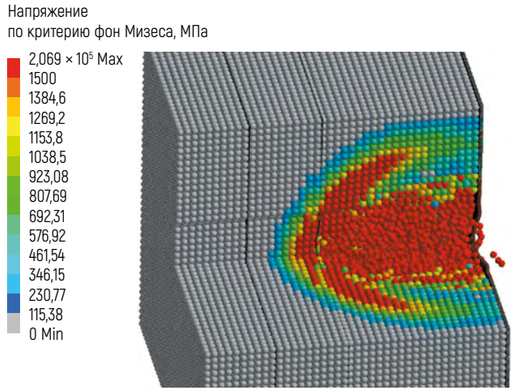


Рисунок 18 – Ударная волна, формируемая телом метеороида

На рисунке 18 тело метеороида представлено в виде мелких частиц. Ударная волна в первые моменты формируется за частицами, не успевая распространяться перед ними, однако при падении скорости и энергии системы в целом начинает их опережать. Достигая первой интерференционной решётки, волна проходит этап разделения. После этого уже разделённая волна переотражает саму себя и гасится (рисунок 19).

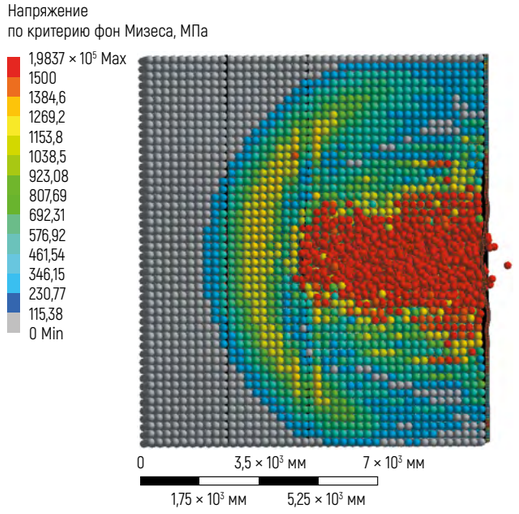


Рисунок 19 – Распределение ударной волны после прохождения первой интерференционной решётки

Достигая второй интерференционной решётки, энергия переотражается повторно и на поверхности грунта опускается до нуля, не вызывая никаких разрушений (рисунок 20).

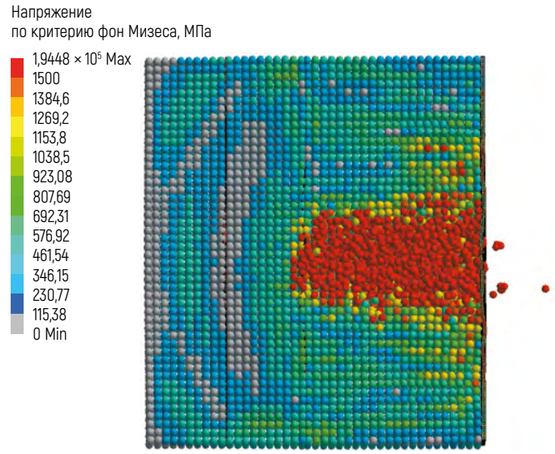


Рисунок 20 – Окончание распространения ударной волны

По окончании распространения ударной волны вся оставшаяся энергия в системе расходуется на переформирование пристеночных слоёв грунта (рисунок 20, отмечено красным цветом). Однако опасность, но уже для других объектов, несёт вызванный ударом частичный выброс грунта в открытый космос (характер выброса, его объёмы и траектории распространения частиц показаны на рисунках 18–20).

Механические разрушения при попадании такого объекта в оболочку ЭКД происходят только в первом (пристеночном) слое грунта толщиной не более 5 м, в котором остались частицы каменно-ферритного метеороида. В остальных случаях (при расположении коммуникаций выше этого уровня) можно утверждать, что станция выдержала удар и сохранила безопасность внутреннего пространства.

При столкновении с другим типом объектов (металлическими балками или прочими элементами различных сплавов, присутствующими на орбите) наблюдается другое поведение оболочки и грунта, расположенного за ней.

Наибольшую угрозу представляют металлические детали вытянутой (перпендикулярно стенке станции) формы.

Рассмотрим объект весом 10 кг, движущийся по случайной траектории и врезающийся в стенку ЭКД под углом. Расчётная модель показана на рисунке 21.

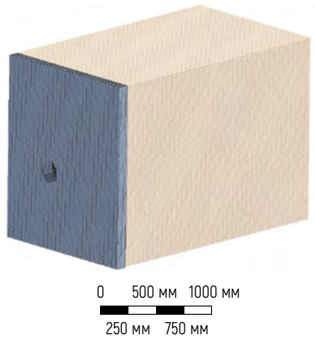


Рисунок 21 – Расчётная модель основной оболочки ЭКД при попадании металлического обломка весом 10 кг

Отверстие в оболочке, возникающее при таком попадании, значительно отличается от того, которое образовалось после столкновения с каменно-ферритным метеороидом. В данном случае появляется пробоина неправильной формы с рваными краями (рисунок 22). В первую очередь подобный результат связан не с формой объекта, а с недостатком энергии и сопоставимыми скоростями деформирования оболочки и объекта-угрозы.

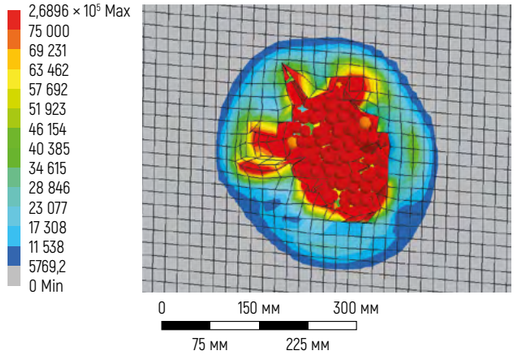


Рисунок 22 – Характер отверстия, возникающего при попадании в оболочку станции металлического объекта весом 10 кг

Распространение ударной волны отличается от первой рассмотренной ситуации только количеством энергии и, соответственно, скоростью затухания. Полностью угасает волна на расстоянии 1,5 м от внутренней поверхности объекта (рисунок 23).

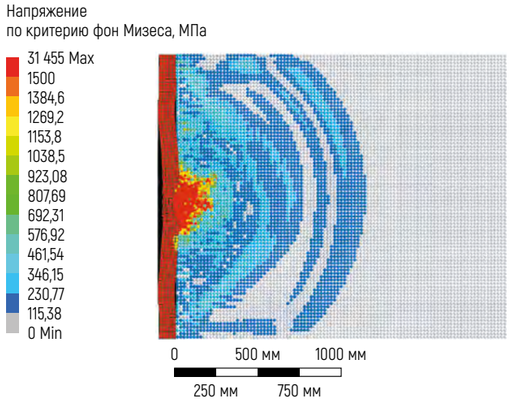


Рисунок 23 – Распространение ударной волны при попадании в оболочку станции металлического объекта весом 10 кг

Сам объект частично разрушается при вхождении в грунт и застревает в нём, перераспределяя и уплотняя его вокруг места попадания в оболочку. На поверхностном защитном слое космический мусор не создаёт никаких существенных изменений и избыточных деформаций.

При попадании крупного металлического элемента весом 100 кг и выше ударная волна приобретает более масштабный характер, но также не представляет критической угрозы. Расчётная модель показана на рисунке 24.

Рисунок 24 – Расчётная модель основной оболочки ЭКД при попадании металлического объекта весом 100 кг

Характер возникающего отверстия не отличается от того, который был при встрече с более мелким объектом. Однако сам объект сильно деформируется в момент начала прохождения через грунт (рисунок 25).

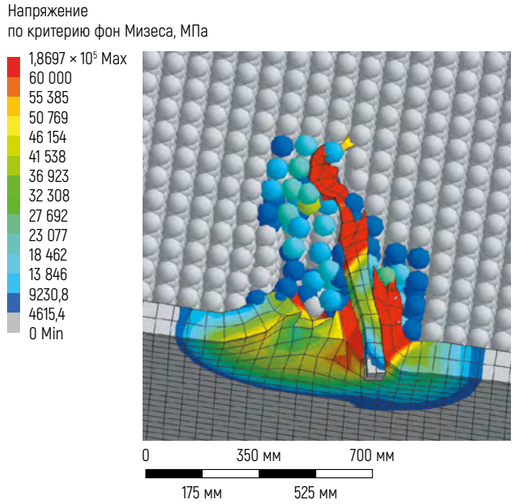


Рисунок 25 – Характер деформаций объекта-угрозы, попавшего в оболочку ЭКД (общий вид)

Поскольку вероятность попадания в оболочку ЭКД космического фрагмента, имеющего условно обтекаемую форму, стремится к нулю (на орбите отсутствуют частицы, которые могут со временем убрать острые края тел, и атмосфера, чтобы развернуть его в положение наименьшего сопротивления потоку), то крупногабаритный рассматриваемый элемент оценивается как среднестатистический.

Ударная волна ещё не успела сформироваться из-за низкой скорости распространения деформаций для грунта (рисунок 25). Из-за вызванных разрушений объект достаточно быстро останавливается в грунте и далее передаёт только свою энергию в виде ударной волны, распространяющейся по грунту. После полной остановки объекта ударная волна принимает вид, показанный на рисунках 26, 27.

Затухание ударной волны происходит на расстоянии 5 м от внутренней грани оболочки ЭКД, также не оставляя никаких видимых повреждений структур, находящихся внутри станции. В месте попадания объекта грунт частично уплотняется и его объём перераспределяется, однако это не влияет на работоспособность оболочки.

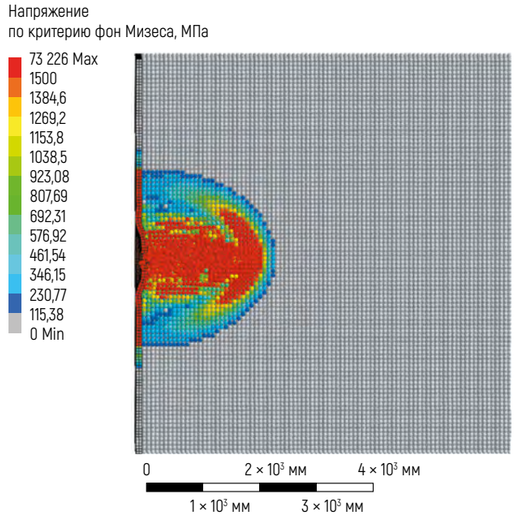


Рисунок 26 – Начало распространения ударной волны

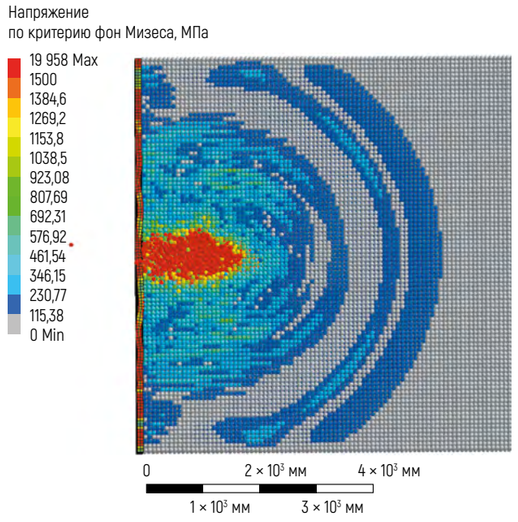


Рисунок 27 – Затухание ударной волны

На орбите крайне редко встречаются объекты, имеющие значительное отличие по массе и скорости от элементов-угроз, анализируемых в настоящей статье. Следовательно, можно сделать вывод о достаточной прочности предусматриваемых в ЭКД защитных структур.

Вместе с тем в дальнейшем структура оболочки должна представлять собой конструкцию с вакуумным зонированием (рисунок 28).

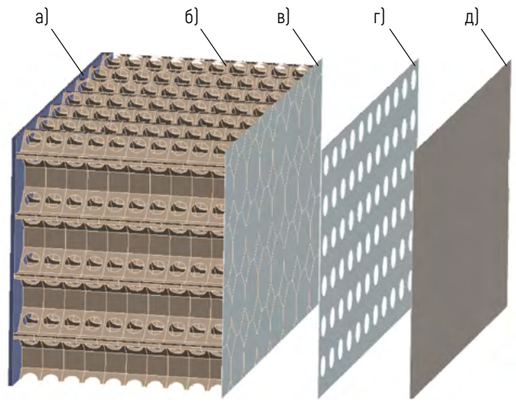


Рисунок 28 – Перспективный вид конструкции оболочки ЭКД (заполнитель скрыт): а – наружная обшивка; б – пластиковые демпферы в виде интерференционных тоннелей; в – вакуумный изолятор; г – интерференционная решётка; д – поверхность грунта

Условно оболочку ЭКД можно разделить на два отдельных отсека, между которыми предполагается вакуумный изолятор (рисунок 28в). Первый отсек (со стороны наружной оболочки) заполняется лёгкими полыми сферами, частично уничтожаемыми в случае возможного пробития корпуса ЭКД. При разрушении данных сфер поглощается огромное количество энергии, а за счёт отсутствия физической связи между собой они легко занимают новый объём. Такой тип защиты позволит значительно снизить ударную нагрузку, приходящуюся на внешние слои оболочки ЭКД. Пластиковые демпферы (рисунок 28б) представляют собой сотоподобную структуру, заполняющую весь отсек; служат в качестве горизонтального интерференционного тоннеля при передаче ударной волны на алюминиевый вакуумный изолятор. Во втором отсеке (со стороны поверхности грунта) установлена только дополнительная интерференционная решётка (рисунок 28г), предназначенная для равномерного распределения и переотражения волны, которая может возникнуть при попадании больших объектов в наружную оболочку.

Как выявлено в ходе данного исследования, рассматриваемая оболочка обладает оптимальными характеристиками. Она может значительно облегчить конструкцию при замене части грунта лёгкими синтетическими материалами, а также позволит перейти на менее плотную структуру и меньшую толщину наружного листа силовой части оболочки ЭКД.

Выводы и дальнейшие направления исследования

Расчёт показал высокую надёжность оболочки ЭКД, расположенного на орбите Земли. Представленная конструкция защитит космическое сооружение от объектов-угроз естественного и искусственного происхождения, имеющих вес до тонны. Космический мусор большей массы – редкое явление. Однако даже в таком случае использование АСЗ и направление значительной энергии в достаточном удалении от станции позволит или сменить траекторию крупного объекта, или расколоть его на несколько разрозненных частей, уже не представляющих опасность для ЭКД.

Пробитие основной оболочки станции не несёт серьёзной угрозы при вакуумном зонировании секторов оболочки в грунте, а также в случае внедрения разрабатываемых в настоящее время «самозалечивающихся» материалов по типу самовосстанавливающегося бетона [15] и других подобных композитов. Для данной цели можно применять грунт с включением гранул материала, которые при резком нагреве (вследствие огромной энергии, передаваемой при столкновении) будут заделывать отверстие в основной оболочке.

Для дальнейшего исследования также необходимо детально проработать систему активной защиты, способной в перспективе сократить затраты на саму оболочку как не подверженную никаким внешним механическим воздействиям.

Литература

1. *Stuff in Space [Electronic resource]. – Mode of access: http://stuffin.space/. – Date of access: 10.04.2021.*
2. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.: ил.*
3. *Kessler, D.J. Collisional Cascading: The Limits of Population Growth in Low Earth Orbit / D.J. Kessler // Advances in Space Research. – 1991. – Vol. 11, No. 12. – P. 63–66.*
4. *Iannotta, B. U.S. Satellite Destroyed in Space Collision [Electronic resource] / B. Iannotta. – Mode of access: https://www.space.com/5542-satellite-destroyed-space-collision.html. – Date of access: 10.04.2021.*
5. *Collision Between Iridium 33 and Kosmos 2251 – Debris Field After 50 Minutes [Electronic resource] // Astronautics Research Group, University of Southampton. – Mode of access: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a1/Collision-50a.jpg. – Date of access: 10.04.2021.*
6. *Демидов, А.С. Конструкция энергосиловых установок космических аппаратов / А.С. Демидов. – М.: МАИ, 2011. – 112 с.*
7. *Орбита МКС успешно скорректирована [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: https://www.vesti.ru/article/1922776. – Дата доступа: 10.04.2021.*
8. *Вениаминов, С.С. Космический мусор – угроза человечеству / С.С. Вениаминов, А.М. Червонов; под ред. Р.Р. Назирова, О.Ю. Аксенова. – М.: ИКИ РАН, 2012. – 191 с.*
9. *Statement of Maj. Gen. Grayson D. Tate, United States Army, Program Manager, Ballistic Missile Defense // Hearings on H.R. 6495. – Washington, 1980. – Pt. 4, Book 1. – P. 966–967.*
10. *Гладкий, И.Л. Экспериментальное определение стойкости к ударному воздействию материалов, применяющихся в корпусах вентиляторов газотурбинных двигателей / И.Л. Гладкий, Р.И. Березин // Известия Самарского научного центра РАН. – 2012. – Т. 14, № 4 (5). – С. 1359–1362.*
11. *Johnson, G.R. A Constitutive Model and Data for Metals Subjected to Large Strains. High Strain Rates and High Temperatures / G.R. Johnson, W.N. Cook // Proc. of the 7th Intern. Symp. on Ballistics, Hague, 19–21 Apr. 1983. – Hague: Roy. Inst. of Engrs in the Netherlands, 1983. – P. 541–547.*
12. *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. / Астроинженерные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 51–57.*
13. *Спивак, А.И. Разрушение горных пород при бурении скважин / А.И. Спивак, А.Н. Попов. – М.: Недра, 1994. – 261 с.: ил.*
14. *Скорость звука // Физическая энциклопедия / под. ред. А.М. Прохорова. – М.: Совет. энцикл., 1988. – Т. 4. – С. 216–217.*
15. *Healing Fine Cracks in Concrete with Bacterial Cement for an Advanced Non-Destructive Monitoring / N.P. Kaur [et al.] // Construction and Building Materials. – 2020. – No. 242. – P. 1–25.*

УДК 621.039.53/54+624.014+721.01

Эффект памяти формы в технологиях построения конструкций в условиях невесомости

Плескачевский Ю.М.

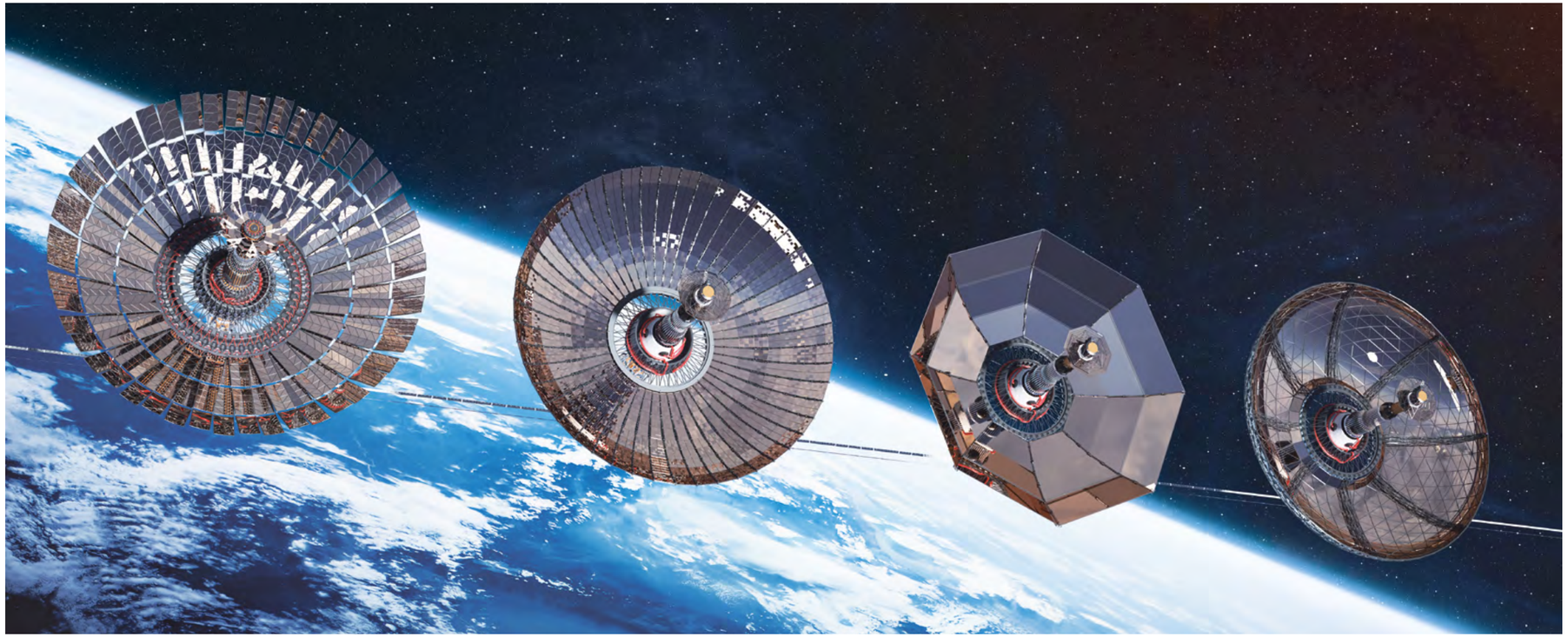
Член-корреспондент
НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь

Описаны условия проявления эффекта памяти формы для аморфно-кристаллических радиационно-модифицированных полимерных материалов и некоторых сплавов металлов. Предложены инженерные решения, составившие основу следующих изобретений: термоусаживающийся материал для трансформирующихся металлополимерных конструкций, трансформирующаяся солнечная батарея, а также способы изготовления складной антенны и построения трансформирующейся металлополимерной конструкции в условиях невесомости, технология изготовления трансформирующейся конструкции космического аппарата из полимерных материалов, методология дозиметрии ионизирующего излучения. Приведены основные технологические и конструктивные способы практической реализации, обеспечивающие корректное построение и эффективную работу данных инженерных решений в условиях невесомости.

Ключевые слова:
эффект памяти формы, аморфно-кристаллические полимеры, титано-никелевые и медно-алюминиевые сплавы, невесомость, трансформирующиеся конструкции.

Введение

Ряд материалов, выполняющих конструкционное или функциональное назначение, обладают уникальным свойством, называемым эффектом памяти формы. Таким свойством характеризуются аморфно-кристаллические полимерные материалы и сплавы на основе никеля и титана, меди и алюминия, а также других компонентов. Эффект памяти формы у полимеров имеет энтропийную природу, у названных сплавов металлов он связан с мартенситным переходом кристаллической структуры.



Технологии и расчётные оценки

Для полимеров, содержащих кристаллическую и аморфную фазы, а также способных к межмолекулярному сшиванию под действием ионизирующих излучений, эффект памяти формы достигается в результате осуществления следующих технологических операций. Сначала сшивающийся полимер облучают до дозы, которая может быть несколько меньше дозы гелеобразования. Затем его нагревают с целью плавления кристаллических участков и растягивают. Следующая стадия – охлаждение находящегося под напряжением полимера до восстановления кристаллической структуры. Полученный таким путём материал подвергается повторному нагреванию. При этом в ходе терморелаксации пространственно-молекулярной сетки полимер стремится восстановить исходную форму. Терморелаксационные характеристики радиационно-сшитого термопласта определяются параметрами трёхмерной макромолекулярной сетки и условиями сшивания полимера.

Нами проведена оценка зависимости степени реализации эффекта памяти $E_р$ как характеристики терморелаксационных свойств термопластов от показателя их сшивания γ_c. Для расчёта $E_р$ предложена формула [1]:

$$E_р = \frac{l - l_к}{l - l_0} \times 100\ \%,$$

где l_0, l, $l_к$ – длина образца исходная, после ориентации и конечная после терморелаксации соответственно.

Для оценки корректности определения структурных параметров трёхмерной сетки по равновесным упругим свойствам полимеров (на примере сшитого разными дозами полиэтилена высокого давления – ПЭВД) установлены температурные области выполнения условий высокоэластического состояния, т. е. условия обратимости деформаций и пропорциональности напряжений растяжения σ абсолютной температуры T. Отмечено, что независимо от плотности трёхмерной структуры полимера, т. е. поглощённой им дозы облучения, пропорциональная зависимость σ от T устанавливается при температуре, превышающей примерно на 40 К точку плавления кристаллической фазы ПЭВД. Данная температура соответствует истинной равновесной температуре плавления полиэтилена (411... 417 К).

При температурах, более близких к наблюдаемой точке плавления (378 К), отмечено резкое уменьшение σ, вызванное, по-видимому, гетерогенностью расплава, а также тем обстоятельством, что сохранившиеся кристаллические образования препятствуют проявлению релаксационных свойств всех напряжённых поперечных связей трёхмерной сетки. Вместе с тем полное восстановление геометрических размеров образцов ($E_р$ = 100 %) после снятия растягивающей нагрузки наблюдается уже при 383... 388 К. Полученные результаты, а также данные таблицы для полиэтилена низкого давления (ПЭНД) свидетельствуют о корректности применения кинетической теории высокоэластичности к редкосетчатым термопластам при их разогреве до температур, превышающих истинную равновесную температуру плавления полимера.

Таблица – Взаимосвязь дозы облучения, показателя сшивания γ_c и степени реализации эффекта памяти $E_р$ ориентированного ПЭНД (степень вытяжки λ = 1,5) [1]

Поглощённая доза, кГр	γ_c	$E_р$, %
25	0	0
50	0	0
75	0,26	15
100	0,9	100
200	6	100
400	19	100
1000	50	100

Примеры инженерных решений

Проведённые исследования аморфно-кристаллических полимеров в сочетании с известными данными об условиях проявления эффекта памяти формы у различных сплавов металлов позволили разработать ряд оригинальных инженерных решений.

Термоусаживающийся материал для трансформирующихся металлополимерных конструкций на матрице из радиационно-модифицированного ПЭВД, армированного проволочной решёткой из титано-никелевого сплава. Материал позволяет создавать из него широкий набор конструкций, способных трансформироваться в условиях невесомости [2].

Способ изготовления складной антенны, обладающей в сложенном состоянии эффектом памяти формы и восстанавливающей первоначальную конфигурацию за счёт теплового излучения Солнца, например, в космосе [3].

Способ построения трансформирующейся металлополимерной конструкции в условиях невесомости, включающий сборку на Земле отдельных узлов и конструкции в целом с помощью соединительных элементов из материала, обладающего памятью; свёртывание (складывание) конструкции в компактное состояние; доставку на орбиту; последующее развёртывание конструкции уже на орбите в условиях невесомости путём прогрева соединительных элементов тем или иным источником тепла [4].

Способ изготовления трансформирующейся конструкции космического аппарата из полимерных материалов, по сути, позволяющий создавать в космосе на земной орбите гигантские металлизированные листовые и плёночные зеркала, фокусирующие и направляющие на Землю сверхмощные потоки теплового излучения Солнца [5].

Трансформирующаяся солнечная батарея, характеризующаяся повышенным ресурсом работы и стойкостью к радиационным воздействиям, гибкие фотоэлементы которой с помощью адгезионно-активного γ-облучённого порошкообразного ПЭВД крепятся к панели из листового ПЭВД, обладающего памятью формы [6].

Способы дозиметрии ионизирующего излучения, позволяющие просто и с высокой точностью определять поглощённые элементами космических конструкций дозы ионизирующих излучений в широком диапазоне их значений с помощью датчиков в виде плёночных лент из полимера, обладающего эффектом памяти формы. Поглощённая доза определяется линейкой с делениями по величине усадки плёнки в процессе её терморелаксации [7, 8].

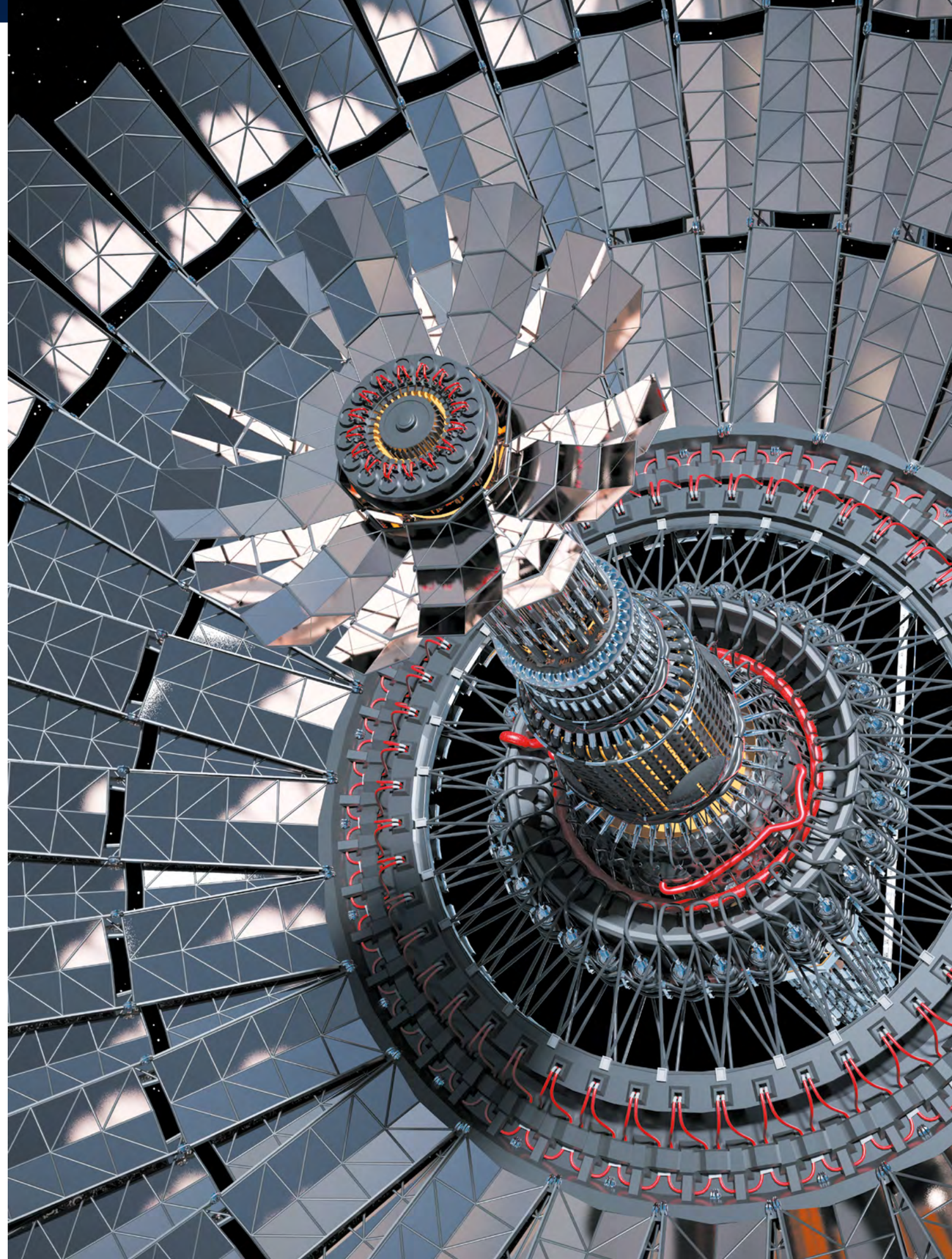
Вышеназванные инженерные решения могут с успехом использоваться при практической реализации предложенных инженером А.Э. Юницким геокосмических транспортных систем и космических кластеров типа «ЭкоКосмоДом» [9].

Выводы

Для аморфно-кристаллических радиационно-модифицированных термопластичных полимерных материалов и ряда сплавов металлов при изменении температурных условий характерно проявление эффекта памяти формы. В сплавах металлов этот эффект реализуется как результат мартенситных переходов кристаллической структуры, в полимерных материалах – как итог последовательных технологических операций, придающих полимеру терморелаксационные свойства. Предложена формула, предназначенная для оценки степени реализации эффекта памяти формы сшивающихся термопластов; определены оптимальные фазы облучения, обеспечивающие показатели сшивания макромолекул полимера не менее единицы и степень реализации эффекта памяти формы до 100 %. На основе проведённых исследований и установленных параметров технологических режимов разработаны инженерные решения (антенны, трансформирующиеся конструкции, солнечные батареи, дозиметры), которые могут с успехом использоваться при практическом построении и эксплуатации предложенных инженером А.Э. Юницким геокосмических транспортных систем и космических кластеров типа «ЭкоКосмоДом».

Литература

1. *Плескачевский, Ю.М. Введение в радиационное материаловедение полимерных композитов / Ю.М. Плескачевский, В.В. Смирнов, В.М. Макаренко. – Минск: Навука і тэхніка, 1991. – 191 с.*
2. *Термоусаживающийся материал для трансформирующихся металлополимерных конструкций: а. с. SU 689251 / В.А. Белый, Ю.М. Плескачевский, Т.М. Качалова, А.К. Новиков. – Опубл. 03.05.1978.*
3. *Способ изготовления складной антенны: а. с. SU 594845 / Ю.М. Плескачевский, В.Н. Мизгайлов, Т.М. Качалова, В.В. Смирнов, А.К. Новиков. – Опубл. 25.10.1976.*
4. *Способ построения трансформирующейся металлополимерной конструкции в условиях невесомости: а. с. SU 657708 / В.А. Белый, Ю.М. Плескачевский, Т.М. Качалова. – Опубл. 03.11.1977.*
5. *Способ изготовления трансформирующейся конструкции космического аппарата из полимерных материалов: а. с. SU 731668 / В.А. Белый, Т.М. Качалова, Ю.М. Плескачевский. – Опубл. 02.10.1978.*
6. *Трансформирующаяся солнечная батарея: а. с. SU 766141 / В.А. Белый, Т.М. Качалова, Ю.М. Плескачевский. – Опубл. 26.10.1978.*
7. *Способ дозиметрии ионизирующего излучения: а. с. SU 1661702 / В.П. Селькин, В.Н. Адериха, Ю.М. Плескачевский, Г.З. Гочалиев, Б.И. Рубин, В.В. Смирнов, В.В. Гофштейн, Е.Б. Дубова. – Опубл. 14.09.1987.*
8. *Способ дозиметрии ионизирующего излучения: а. с. SU 1347716 / Ю.М. Плескачевский, В.П. Селькин, В.В. Смирнов, Е.Б. Дубова, Г.З. Гочалиев, Б.И. Рубин. – Опубл. 03.04.1986.*
9. *Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / Астроинженерные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – 240 с.*



УДК 629.78

Космические солнечные электростанции как элементы распределённой энергосистемы

Кожанова Е.Р.[1]
Менян Ш.[2,3]

[1] Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина, г. Саратов, Россия

[2] Российский университет дружбы народов, г. Москва, Россия

[3] Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

Космические солнечные электростанции (КСЭС) на волоконных лазерах с солнечной накачкой, использующие энергию Солнца, обеспечивают энергонезависимость и экологическую безопасность. Следовательно, разработка способов интеграции КСЭС в существующие и проектируемые энергетические системы является актуальной задачей. Возможны варианты включения КСЭС в распределённые энергосистемы:
для обеспечения электроэнергией космической техники при выполнении пилотируемых полётов на Луну, Марс, астероиды;
для питания наземной энергетической системы;
для снабжения электроэнергией космического индустриального ожерелья «Орбита» (КИО «Орбита»), где солнечная энергия может как применяться напрямую, так и преобразовываться в иные виды энергии, необходимые для работы всех элементов КИО «Орбита» в зависимости от потребностей.
При создании и развитии космической солнечной энергетики, в том числе и КСЭС, в высшей степени обязательно международное сотрудничество во всех вопросах, касающихся эффективного устойчивого развития человечества.

Ключевые слова:
космическая солнечная электростанция (КСЭС), центробежные бескаркасные конструкции, лазерное излучение, СВЧ-излучение, распределённая энергосистема, волоконные лазеры с солнечной накачкой, космическое индустриальное ожерелье «Орбита» (КИО «Орбита»).

Введение

Непрерывно возрастающие энергетические потребности человечества побуждают к поиску новых источников энергии в противовес традиционным (ТЭЦ, АЭС, крупные ГЭС), которые наносят ущерб окружающей среде и тем самым ведут к глобальному изменению климата и природным катаклизмам. Решением проблемы экологического энергообеспечения видится развитие альтернативных энергетик, основанных на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ): солнце, ветре, воде (кроме крупных ГЭС), геотермальных источниках, биотопливе. Данная энергия неисчерпаема, она обеспечивает энергонезависимость и экологическую безопасность. ВИЭ дополняют и/или заменяют традиционные источники энергии.

Космическая техника способна урегулировать вопросы, касающиеся стабилизации климата и замещения нефти, природоохранными технологиями путём создания аэрокосмической энергетики [1–3], в которой ставка на солнечную энергетику рассматривается в качестве беспроигрышного и безальтернативного выбора для цивилизации. Известно, что Солнце – огромный, неиссякаемый и экологичный источник питания, а солнечные электростанции – самый экологически чистый способ получения энергии.

Космические солнечные электростанции (КСЭС) с беспроводной передачей электроэнергии наземным и космическим потребителям являются основными элементами аэрокосмической энергетики как для обеспечения электроэнергией космической техники при выполнении пилотируемых полётов, так и для наземной энергетической системы в малоосвоенных и труднодоступных регионах, где отсутствуют кабельные сети передачи электроэнергии (Сибирь, Камчатка, Дальний Восток, а также районы Арктики и континентального шельфа). Следовательно, разработка вариантов интеграции КСЭС в существующие и проектируемые энергетические системы – актуальная задача.

Обзор литературы

Идею создания КСЭС предложил американский учёный П. Глейзер в 1968 г. В настоящее время их разработкой активно занимаются страны Европейского союза, Россия, Япония, США, Индия, Великобритания, Канада, Израиль и Китай. Двигаясь в данном направлении с 2008 г., Китай в конце 2019 г. объявил о намерениях создать КСЭС к 2035 г. [4]. В Японии после аварии на атомных реакторах (Фукусима, 2011 г.) принята программа реализации КСЭС к 2040 г. [5].

Основные концепции организации КСЭС [6] на сегодняшний день:

- на базе КСЭС, размещаемых на низких околоземных орбитах (проект НПО им. С.А. Лавочкина (Россия));
- на базе КСЭС, размещаемых в точках Лагранжа (проект РКК «Энергия» (Россия));
- на базе КСЭС, размещаемых на геостационарной орбите (проект ЦНИИмаш (Россия); проект SolarBird (Япония); проект КСЭС по программе Пентагона 2007 г. (США); проект Solaren (США));
- на базе лунных космических солнечных электростанций (ЛКСЭС) с использованием орбитальных ретрансляторов энергии (проект ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша» (Россия); концепция разработчика Д. Крисвелла из Университета Хьюстона (США));
- на базе ЛКСЭС с прямой передачей энергии (проект Shimizu Corporation (Япония)).

Солнечную энергетику принято делить на:

- наземные солнечные электростанции (СЭС), которые в свою очередь классифицируются в зависимости от диапазона рабочих температур на низкотемпературные (до 600 К, использование фотоэлектрических преобразователей (ФЭП)) и высокотемпературные (теоретически до 6000 К, на практике – 1000 К и 2500 К, применение машинных и термоэмиссионных электрогенераторов).

Недостатки наземных СЭС: размещение на территориях, имеющих значительный энергетический потенциал, но расположенных далеко от потребителей; зависимость от погодных условий, так как потери энергии достигают 60–90 % при прохождении солнечного излучения через атмосферу; огромные площади, которые нужно занимать солнечными электростанциями большой мощности; невозможность эксплуатации в ночное и вечернее время снижает КПД системы в несколько раз [7, 8];

- КСЭС.

В состав КСЭС входят [7, 8]:

- космическая платформа для сбора и преобразования солнечной энергии в электрическую (2, 3, рисунок 1);
- канал преобразования электрической энергии в лазерную или микроволновую энергию для дальнейшей её передачи на Землю (5, рисунок 1);
- сеть наземных пунктов приёма лазерной или микроволновой энергии с последующим преобразованием в электрическую, где может накапливаться электроэнергия для дальнейшего её обмена с другими пунктами (6, рисунок 1).

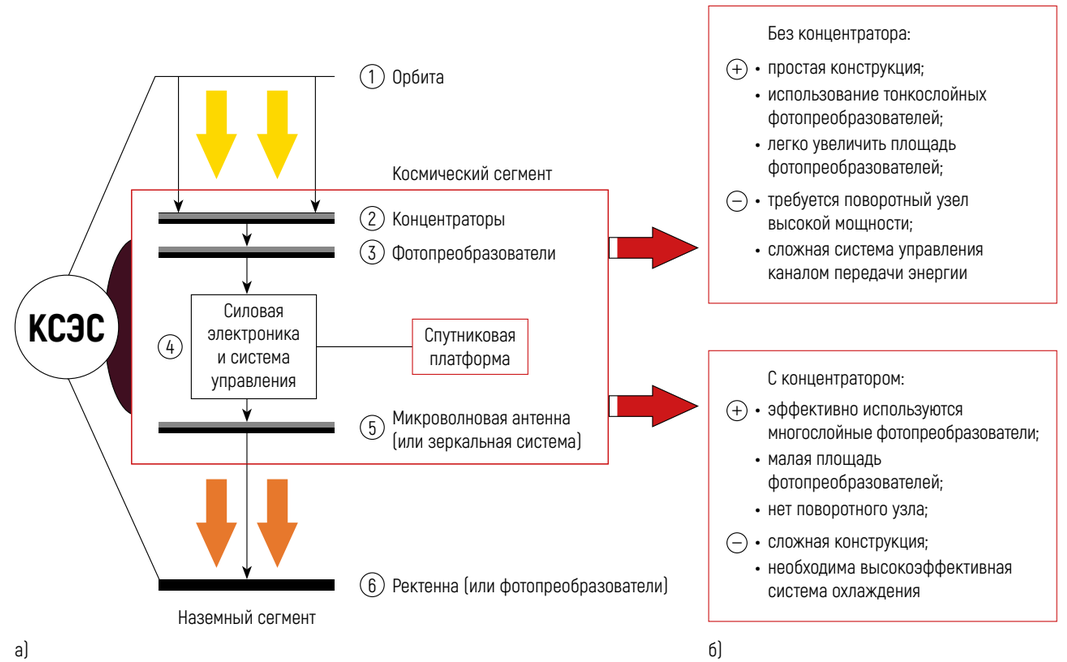


Рисунок 1 – Структура КСЭС: а – конфигурация; б – классификация

КСЭС лишены недостатков наземных СЭС [9–12]:

• энергия доступна практически круглосуточно и не зависит от погодных условий;

• энергия может быть передана абсолютно в любой район поверхности, включая северные территории, что делает применение КСЭС актуальным;

• не расходуются полезные ископаемые Земли (уголь, газ, нефть и др.);

• не возникают вопросы, связанные с выбросом CO_2 или других загрязняющих атмосферу веществ; отсутствуют проблемы с захоронением радиоактивных и/или переработанных отходов;

• наземные приёмные пункты могут располагаться на крышах или водных платформах, что позволяет эффективно использовать площади. Микроволновый (или лазерный) пучок легко перебрасывается от одного приёмного наземного пункта на другой, обеспечивая оперативное переключение удалённых потребителей.

Выбор орбиты (рисунок 2) определяет преимущества и недостатки КСЭС.

В [7] приводится анализ преимуществ и недостатков типов орбит, на которых планируется размещать КСЭС; представлены рекомендации по их использованию (графа «Примечания» таблицы).

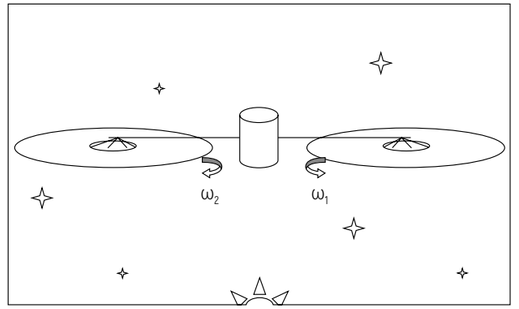
Рисунок 2 – Виды орбит [1]: L1 – размещение в точке Лагранжа

Таблица – Преимущества и недостатки типов орбит для работы КСЭС [1, 7]

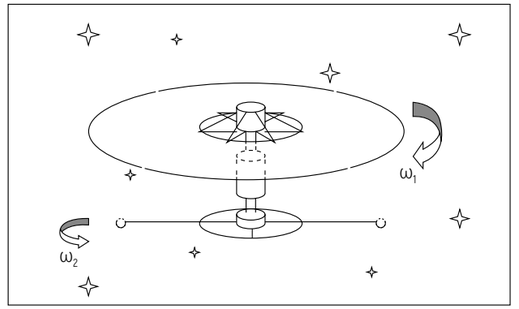
Тип орбиты	Преимущества	Недостатки	Примечания
LEO (круговая орбита)	Короткая дистанция Небольшая антенна космического аппарата (КА) Низкие затраты на выведение	Большие перерывы в передаче энергии Большое количество приёмных антенн Сложность управления	Подходит для отработки демонстрационной КСЭС
GEO (геостационарная орбита)	Непрерывная передача энергии Единственная приёмная антенна (ректенна) Простое управление	Большая дистанция Большая антенна КА Высокие затраты на транспортировку Трудное обслуживание	Подходит для коммерческой КСЭС
SSO (солнечно-синхронная орбита)	Простота наведения панелей на Солнце и наведение антенны КА на ректенну на Земле	Сложность управления Большое количество ректенн	Подходит для специализированной КСЭС
L1 (размещение в точке Лагранжа)	Непрерывная передача энергии Простое управление Возможность размещения большого количества КА	Большая дистанция Большая антенна КА Большие затраты на транспортировку Трудное обслуживание	Следующий шаг к развитию будущих КСЭС

Выбор орбиты и конструкция солнечных батарей КСЭС определяют её мощность и обуславливают схемы компенсации кинетического момента вращающейся солнечной батареи (СБ) [9–12] (рисунок 3):

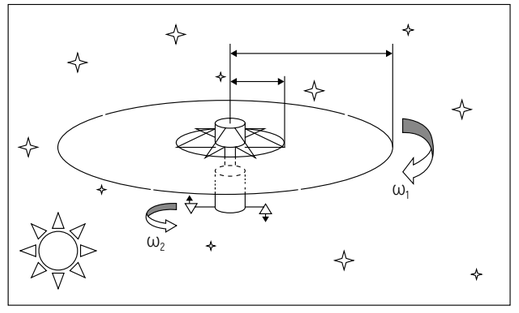
1) две вращающиеся солнечные батареи с параллельными осями вращения располагаются по разные стороны от спутниковой платформы (рисунок 3а);



а)



б)



в)

Рисунок 3 – Схемы компенсации кинетического момента СБ [11]

2) одна вращающаяся солнечная батарея с маховиком противовращения в виде грузов на тросе или тросовой кольцевой системы (рисунок 3б), а также двух соосно противовращающихся батарей, не затеняющих друг друга;

3) одна вращающаяся солнечная батарея с компенсацией кинетического момента топливом двигателей системы ориентации (рисунок 3в).

Первому варианту, содержащему элемент «каркасности» в виде раздвижной штанги, присущи недостатки каркасных и бескаркасных систем. Значит, предпочтительнее второй и третий варианты. Третий технически проще второго, поскольку способен задействовать неуправляемую схему агрегата раскрытия с одним электроприводом вращения, однако из-за ограниченности топлива на борту спутниковой платформы может рассматриваться в основном применительно к спутниковым платформам малой и средней размерности. Второй вариант наиболее универсален, хотя и сложнее, так как использует два полностью управляемых электропривода (вращения и роспуска). Применим на любой спутниковой платформе [11].

Преимущества центробежных бескаркасных космических конструкций СБ над каркасными аналогами [9–12]:

• отсутствие жёсткого каркаса, составляющего до 50 % стоимости всей системы;

• нечувствительность к метеоритной опасности;

• допустимость переориентации (слежения за Солнцем) на гироскопическом принципе без затрат рабочего тела ввиду того, что сама центробежная система является тяжёлым гироскопом;

• малый объём укладки при транспортировке;

• возможность эффективной наземной отработки, автоматизированного развёртывания и обратного свёртывания на орбите при необходимости изменения дислокации;

• уникальный отечественный опыт наземной и орбитальной отработки.

Мощность СБ зависит от её массогабаритных размеров. При проектировании важно увеличить площадь принимающей поверхности СБ при минимизации её массы. Самым распространённым решением указанной задачи являются плёночные СБ. В настоящее время ведётся разработка плёночных материалов для СБ с учётом достижений в области нано- и метаматериалов [13–15].

Известные концепции КСЭС [4] предусматривают применение полупроводниковых фотопреобразователей солнечной энергии в электроэнергию. Данные полупроводники располагаются на геостационарной или иной орбите перпендикулярно солнечным лучам. Собранная с площади

всех фотопреобразователей электроэнергия преобразуется в СВЧ- или лазерный сигнал различного диапазона длин волн, не поглощаемый в пути из космоса на Землю и передаваемый на наземную ректенну.

Следовательно, создание бескаркасных центробежных конструкций КСЭС может гарантировать значительное снижение финансовых затрат и времени на реализацию проекта при использовании космических солнечных энергосистем по сравнению с альтернативными схемами прошлых лет [10–12]. Важнейшая миссия КСЭС (кроме сбора и аккумуляции электроэнергии) – качественная передача полученной электроэнергии космическим и наземным потребителям с формированием распределённых гибридных энергетических систем.

Описание метода

При интеграции КСЭС в существующие и/или проектируемые энергетические системы встаёт вопрос беспроводной передачи энергии, обладающей высоким КПД. В настоящее время рассматриваются СВЧ- и лазерное излучение.

Приемлемый частотный диапазон СВЧ-излучения, по результатам многолетних научных исследований наиболее пригодный для передачи больших мощностей с минимальными потерями энергии при прохождении через атмосферу Земли, группируется вблизи несущей частоты f = 2,45 ГГц. При этом длина СВЧ-волны составляет 10–12 см. Проходя через толщу ионосферы и атмосферы, она практически не искажается. Потери фазового фронта в 3–7 % наблюдаются только при интенсивных осадках (100–150 мм/ч). Для волн меньшей длины быстро растёт затухание; для волн большей длины увеличивается размер антенн.

У лазерного излучения (в отличие от СВЧ-излучения) наблюдаются потери при передаче энергии из-за наличия аэрозолей и турбулентностей атмосферы. Критичными являются энергопотери на наземных приёмных солнечных батареях, имеющих КПД 40–60 %. На рисунке 4 показано, что при смещении линии излучения высокоэффективных волоконных лазеров в диапазон 1000–1100 нм и 1300 нм происходит попадание в зону прозрачности атмосферы, что указывает на путь повышения эффективности лазерного способа передачи энергии и, следовательно, на возможность увеличения КПД [15–18].

Существенные успехи в разработке волоконных лазеров в последние десятилетия привлекли внимание создателей космических солнечных электростанций, что породило возникновение лазерной концепции КСЭС.

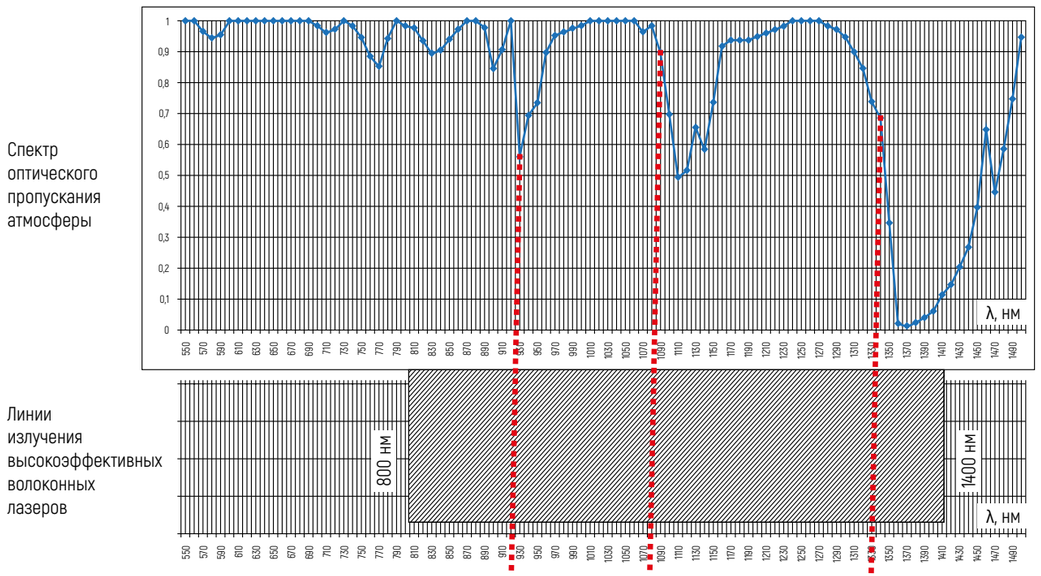


Рисунок 4 – Сопоставление спектра оптического пропускания атмосферы и линий излучения высокоэффективных волоконных лазеров [18]

Волоконные лазеры способны дать узкий луч на пять порядков меньший по площади СВЧ-луча на Земле. Нитеподобность волоконного лазера позволяет рационально использовать центробежные силы для формирования бескаркасной плоской площадки из волоконных лазеров, перпендикулярной солнечным лучам (рисунок 5).

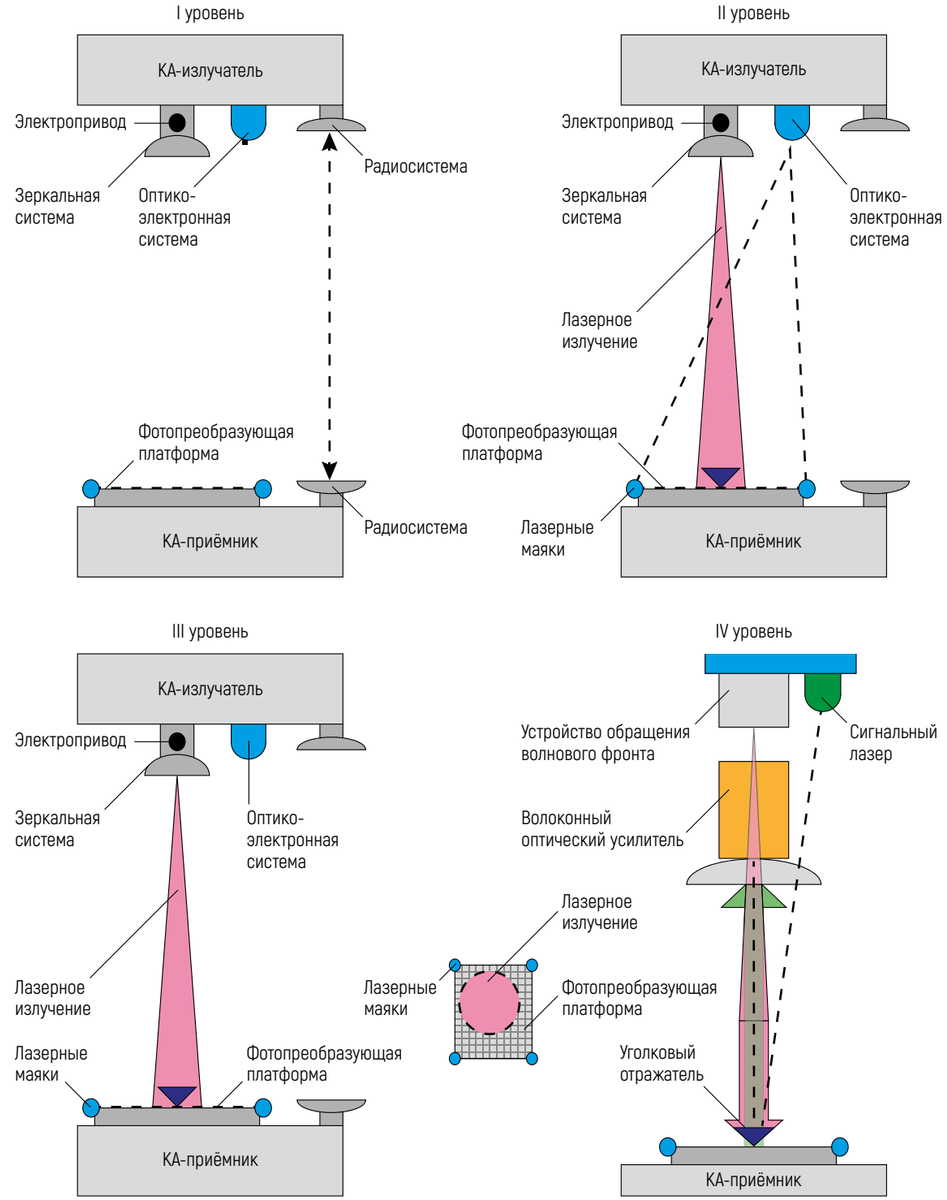


Рисунок 5 – Схема наведения лазерного канала передачи энергии с КСЭС [11]

Преимуществами волоконных лазеров с солнечной накачкой в отличие от СВЧ-систем [10, 16–18] являются:

- отсутствие жёсткого каркаса, что значительно упрощает и удешевляет конструкцию;
- солнечная накачка волоконного лазера исключает необходимость использования солнечных батарей, при этом массу КСЭС реально уменьшить на 2–3 порядка;
- на пять порядков меньшая расходимость лазерного луча (10^{-6} рад) по сравнению с СВЧ-сигналом. Следовательно, уменьшается площадь приёмной ректенны;
- реальные достижения в миниатюризации элементной базы (по световоду диаметром 250 мкм передаётся световая мощность 50 кВт);
- возможность приёма энергии в высокоширотных районах России от КСЭС, находящейся на геостационарной орбите;
- российские производители волоконных световодов сейчас занимают ведущие позиции в мире (85 % мирового производства);
- ресурс более 100 000 ч.

Экологическая опасность КСЭС с лазерным излучением в инфракрасном (ИК) диапазоне длин волн значительно ниже по сравнению с КСЭС с СВЧ-излучением по следующим причинам [10, 11]:

- меньшее биологическое воздействие, поскольку СВЧ-луч проходит (аналогично радиосигналу) через биологическую структуру и оказывает на неё объёмное воздействие, в то время как ИК-луч (подобно световому диапазону длин волн) оказывает только поверхностное воздействие, которое эффективно экранируется;
- локальность приёма и воздействия энергии на существенно меньшей площади приёма;
- принципиальная допустимость расфокусировки лазерного луча до любого требуемого уровня при невозможности точного наведения на приёмную ректенну.

На рисунке 6 показана принципиальная схема компоновки отражателя – единичного модуля центробежной КСЭС на волоконных лазерах с солнечной накачкой [11].

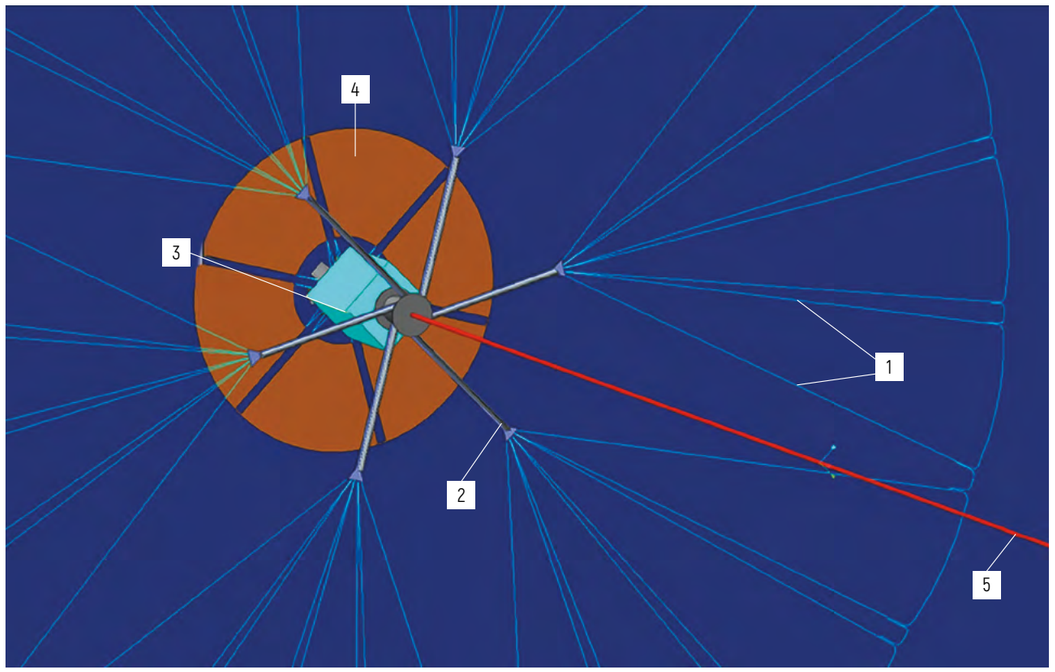


Рисунок 6 – Схема компоновки отражателя – единичного модуля КСЭС на волоконных лазерах с солнечной накачкой:
1 – волоконный лазер; 2 – штанга, раскрываемая из чечевицеобразного профиля; 3 – приборный контейнер;
4 – центробежная СБ для собственных нужд, играющая роль маховика противовращения; 5 – лазерный луч

В реальной схеме густота волоконных лазеров и диаметр охватываемого ими пространства значительно больше для набора требуемой мощности. Принципиальное положительное отличие указанной схемы – отсутствие солнечных батарей и, соответственно, цикла преобразования солнечной энергии в электрическую на солнечных батареях, а также цикла преобразования данной электрической энергии в лазерную на твёрдотельных лазерах. Солнечная накачка сразу запитывает лазер [18]. При этом не только исключаются два цикла преобразования с сопутствующими потерями, но и сильно упрощается конструкция и более чем в 10 раз снижаются её массовые характеристики. Возникает новое направление совершенствования КСЭС, связанное с повышением эффективности солнечной накачки лазеров (снижение порога генерации, смещение длины волны в окно прозрачности атмосферы) и подавлением колебаний платформы с вращающимися конструкциями.

По причине отсутствия целенаправленного финансирования разработок по волоконным лазерам с солнечной накачкой в России указанная на рисунке 6 конструкция не может быть реализована. Главный аргумент – неимение лазеров с достаточной эффективностью. Такие лазеры разрабатываются 20 лет в г. Турине (Италия) (Boetti N. и др.). Однако нет информации о новых достижениях в этой области. В [19] говорится о новых приборах, разработанных инженерами в Georgia Institute of Technology (США) на основе углеродных нанотрубок. Используя конструкцию нанотрубок, возможно создание как эффективных солнечных батарей, так и лазера с солнечной накачкой с КПД до 50 %.

Проанализированы следующие целевые варианты применения КСЭС:

- энергоснабжение космических потребителей (полёты на астероиды, Луну, Марс) (рисунок 7) [11, 20–25];
- энергоснабжение наземных потребителей. Для построения и интеграции КСЭС в наземные энергетические системы задействуют стратосферные сегменты (дирижабли, аэростаты) (каналы 1, 2, рисунок 8) [2–8, 11, 19–25].

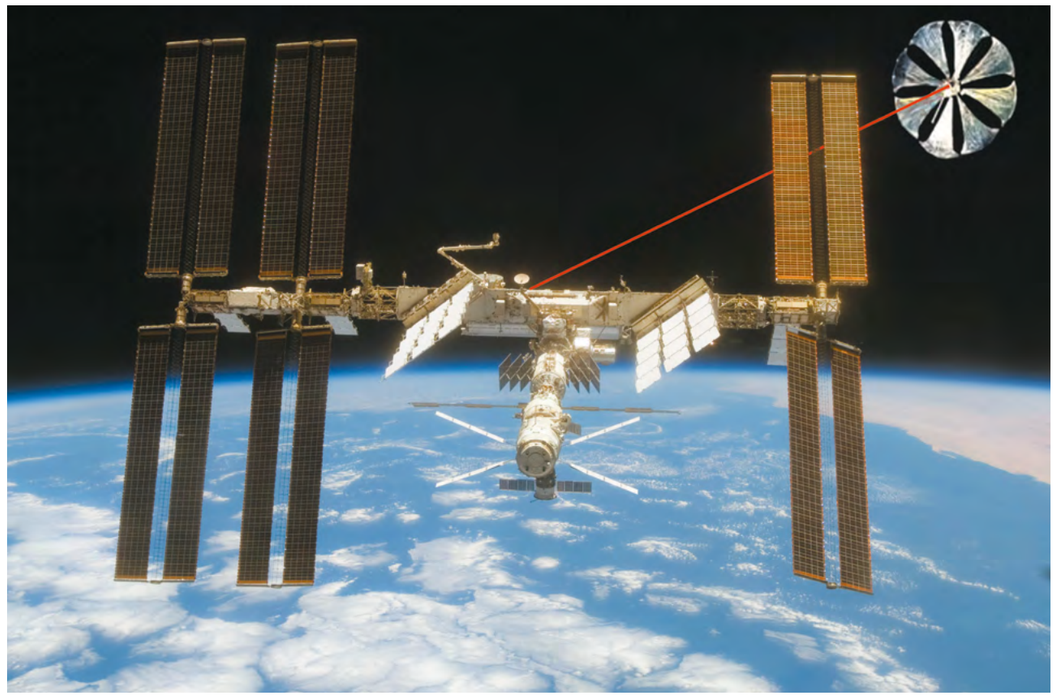


Рисунок 7 – Энергоснабжение Международной космической станции
лазерным лучом от центробежной КСЭС [25]

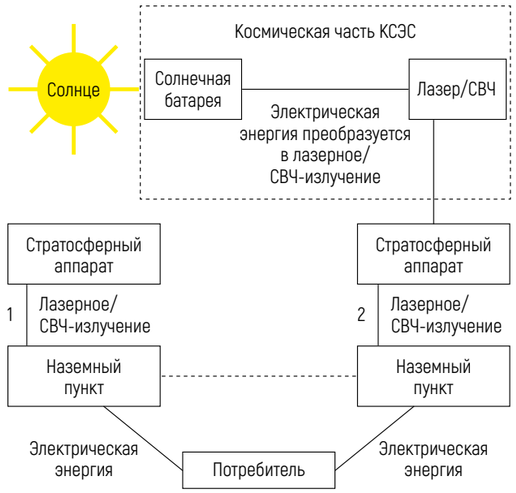


Рисунок 8 – Интеграция КСЭС в наземные энергетические системы через стратосферные сегменты

В рамках данного подхода предлагается рассматривать стратосферный сегмент как самостоятельный элемент системы передачи энергии (рисунок 8) в случае отсутствия сигнала с КСЭС при наличии солнечного излучения. То есть помимо аппаратуры, принимающей сигнал с КСЭС, на стратосферном сегменте устанавливается система преобразования солнечной энергии в лазерное и/или СВЧ-излучение.

Возможен также вариант соединения стратосферного сегмента с наземным пунктом при помощи трос-кабеля, что вызывает много споров в его целесообразности из-за вопросов безопасности и технической реализации [11, 25].

Стоит отметить ещё один вариант функционирования КСЭС – как центробежных отражателей для освещения районов Заполярья отражённым с орбиты солнечным светом (рисунок 9). Вопрос практически отрабатывался во время реализации программы космических экспериментов «Знамя-2» [18], в ходе которых применялись единичные модули КСЭС на волоконных лазерах с солнечной накачкой (рисунок 6). Из-за малой расходимости солнечных лучей освещаемый район может быть сильно локализован.

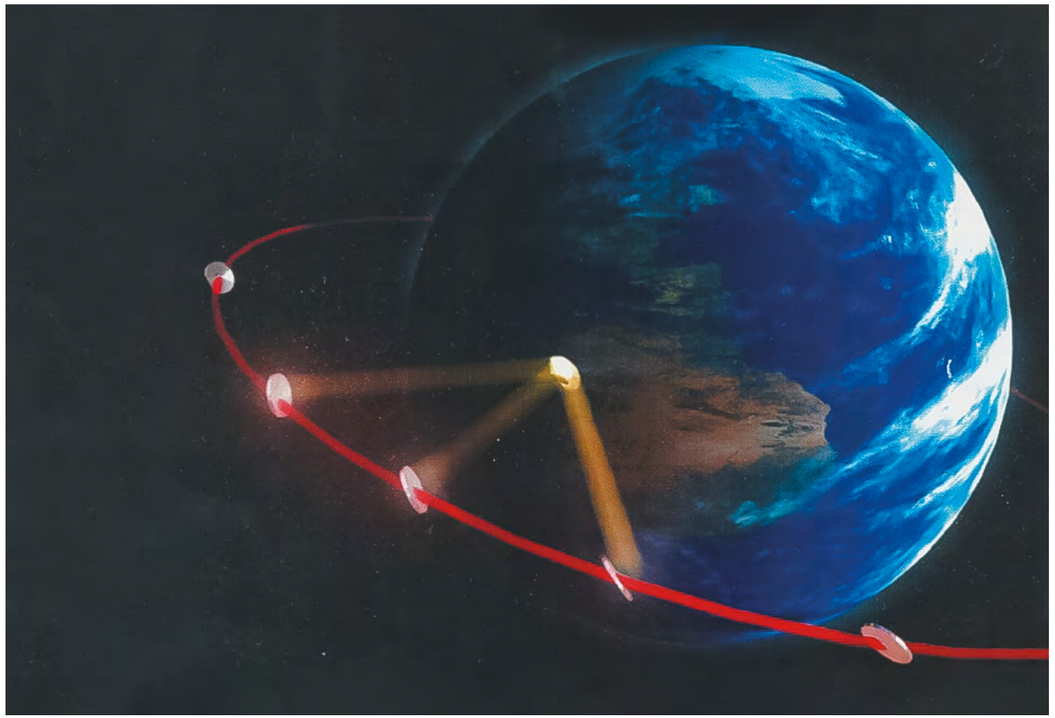


Рисунок 9 – Освещение районов Земли с орбиты отражённым солнечным светом

В экологическом аспекте при освещении с орбиты есть опасность нарушения веками сложившихся условий биоритмов для флоры и фауны. Такое освещение допустимо практиковать в высокоширотных регионах, для того чтобы нормализовать биоритмы человека в период полярной ночи.

В 1995 г. опубликована научная монография А.Э. Юницкого «Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе» (переиздана в 2017 г. и 2019 г. [26]), в которой впервые изложены идеи общепланетарного транспортного средства (ОТС) и космического индустриального ожерелья «Орбита» (КИО «Орбита»).

ОТС – это геокосмический летательный аппарат многоразового использования для безракетного индустриального освоения ближнего космоса, выполненный в виде опоясывающего Землю в экваториальной плоскости тора; обеспечивающий индустриальные грузо- и пассажиропотоки с Земли на околоземные экваториальные орбиты и обратно; основанный на единственно возможной (с позиций физики) экологически чистой и с минимальными энергозатратами геокосмической транспортной технологии [26].

При запуске ОТС корпус транспортного средства и всё, что к нему прикреплено (груз, линейные электродвигатели и др.), начинает вращаться в ту же сторону, что и верхняя бесконечная лента, пока не достигнет окружной скорости, равной первой космической скорости, при этом его радиальная скорость упадёт до нуля согласно закону сохранения момента количества движения системы [26]. В месте назначения, на высоте 400–600 км, происходит выгрузка грузов и пассажиров на КИО «Орбита», представляющее собой орбитальный транспортно-инфраструктурный и индустриально-жилой комплекс, охватывающий планету в плоскости экватора на заданной высоте (например, 400 км) и имеющий соответствующую длину в 42 520 км (для высоты 400 км); в котором «бусинки» – это спаренные грузовые и пассажирские гондолы, доставленные на орбиту, с шагом порядка 500 м (в количестве около 160 000 штук общей массой, вместе с грузом и пассажирами, 10 млн тонн), соединённые друг с другом «нитью» – струнными орбитальными дорогами и другими коммуникациями – энергетическими и информационными [26] (рисунок 10).

Рисунок 10 – Космическое индустриальное ожерелье «Орбита» [27]

Известно, что вес на орбите отсутствует. Следовательно, струнные орбитальные дороги можно рассматривать как напряжённые струны, например из армированного алюминия, для передачи электрической энергии между гондолами КИО «Орбита». Вокруг гондол планируется создать инфраструктуру в виде различных индустриальных сооружений (заводов, фабрик, электростанций и др.), а также жилые космические поселения для персонала КИО «Орбита» – ЭкоКосмоДома [26, 27].

Результаты и анализ

Основные виды энергии, важные для жизнеобеспечения КИО «Орбита», – электрическая, механическая, тепловая и световая. Солнечное излучение является единственным первичным источником, энергию которого реально преобразовать непосредственно на орбите во все полезные виды энергии. Прямое или сконцентрированное солнечное излучение может быть превращено в тепловую энергию нагретых тел, а затем посредством прямой или машинной трансформации – в электрическую энергию. Температуры нагреваемых тел зависят от плотности падающего излучения и организации процессов теплопередачи, в том числе обратного теплового излучения с поверхности [28].

Предлагается вокруг гондол КИО «Орбита» не создавать электростанции в виде «кристаллов», а использовать плёночные солнечные батареи на гондолах и КСЭС на волоконных лазерах с солнечной накачкой (рисунок 11), что уменьшит массогабаритные размеры гондол, а избыток электроэнергии КСЭС передаст на Землю через стратосферные сегменты, создавая гибридную энергетическую систему Земли.

На рисунке 12 представлена предлагаемая интеграция КИО «Орбита» с КСЭС на волоконных лазерах с солнечной накачкой для обеспечения его электрической энергией, которая может применяться в качестве как электрической, так и преобразованной в механическую, тепловую и световую энергию для жизнеобеспечения гондол КИО «Орбита» в зависимости от их потребностей.

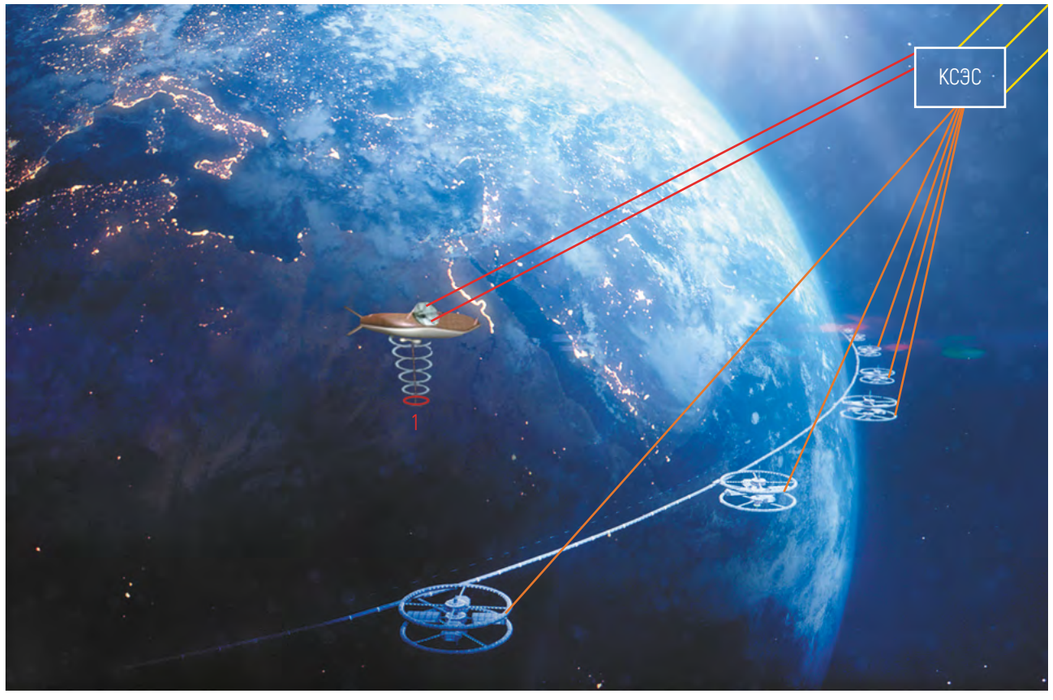


Рисунок 11 – Ориентировочная схема взаимодействия КИО «Орбита» с КСЭС на волоконных лазерах с солнечной накачкой: 1 – ректенна (наземный пункт)

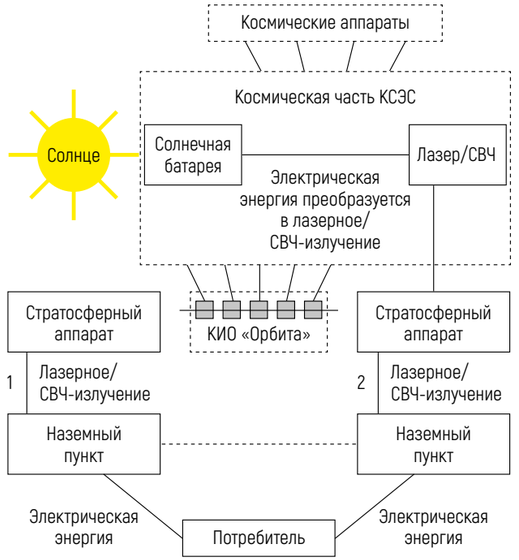


Рисунок 12 – Предлагаемая интеграция КИО «Орбита» с КСЭС на волоконных лазерах с солнечной накачкой

Передача энергии происходит при приближении КСЭС к орбите, на которой находится КИО «Орбита», путём последовательного наведения лазерного канала передачи энергии на ректенны гондол, находящиеся в области доступности. Сам процесс передачи энергии контролируется персоналом или автоматически при помощи информационно-управляющей системы КИО «Орбита».

Выводы и дальнейшие направления исследования

Для удовлетворения возрастающих энергетических потребностей человечества необходимо международное комплексное применение распределённых альтернативных энергетик (в том числе и космической солнечной энергетики, основой которой является КСЭС), дополняющих и/или заменяющих традиционные источники энергии, с целью устойчивого развития человечества, снижения ущерба окружающей среде, который приводит к глобальным изменениям климата и природным катаклизмам.

Жизнеобеспечение КИО «Орбита» всеми видами энергии (электрической, механической, тепловой и световой) при помощи преобразования направленного лазерного излучения с КСЭС на волоконных лазерах с солнечной накачкой, имеющего минимальные потери в условиях вакуума, возможно при интеграции данной КСЭС в энергосистему КИО «Орбита». КСЭС, находящаяся на другой орбите, может использоваться для решения иных задач – энергоснабжения дальних полётов, освещения отражённым солнечным светом и энергоснабжения высокоширотных регионов, районов Крайнего Севера и др.

Учитывая достижения в области нано- и метаматериалов для разработки плёночных СБ и совершенствования КСЭС в области солнечной накачки лазеров, в дальнейшем планируется продумать взаимодействие КСЭС (или совокупности КСЭС, расположенных на различных орбитах) с КИО «Орбита» с целью создания распределённой энергетической системы, предназначенной для обеспечения нужд многоорбитального транспортно-инфраструктурного комплекса, и последующей разработки информационно-управляющей системы генерации, приёма и передачи энергии.

Литература

1. *Сигов, А.С. Актуальность разработки программы по созданию в России солнечной аэрокосмической энергетики / А.С. Сигов, В.Ф. Матюхин // Лазеры в науке, технике, медицине: сб. науч. тр. XXXI междунар. конф., Москва, 28–30 окт. 2020 г. / МГТУ им. Н.Э. Баумана [и др.]; под ред. В.А. Петрова. – М.: МНТОРЭС им. А.С. Попова, 2020. – Т. 31. – С. 54–60.*
2. *Матюхин, В.Ф. Научно-технические основы создания в России солнечной аэрокосмической энергетики / В.Ф. Матюхин // Лазеры в науке, технике, медицине: сб. науч. тр. XXXI междунар. конф., Москва, 28–30 окт. 2020 г. / МГТУ им. Н.Э. Баумана [и др.]; под ред. В.А. Петрова. – М.: МНТОРЭС им. А.С. Попова, 2020. – Т. 31. – С. 243–259.*
3. *Сигов, А.С. Аэрокосмическая солнечная энергетика – взгляд в будущее / А.С. Сигов, В.Ф. Матюхин // Лазеры в науке, технике, медицине: сб. науч. тр. XXX междунар. конф., Москва, 2–4 окт. 2019 г. / МГТУ им. Н.Э. Баумана [и др.]; под ред. В.А. Петрова. – М.: МНТОРЭС им. А.С. Попова, 2019. – Т. 30. – С. 13–21.*
4. *China to Build Space-Based Solar Power Station by 2035 [Electronic resource]. – 2019. – Mode of access: http//www.xinhuanet.com/english/2019-12/02/c_138599015.htm. – Date of access: 30.05.2021.*
5. *Япония планирует построить первую космическую солнечную электростанцию [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа: https://mydiv.net/arts/view-Japan-plans-*

to-build-the-first-space-solar-power.html. – Дата доступа: 30.05.2021.

6. *Сигов, А.С. О концепции развития аэрокосмической энергетики в России на период до 2045 года / А.С. Сигов, В.Ф. Матюхин, И.Я. Редько // С.О.К. – 2016. – № 10. – С. 80–87.*
7. *Сысоев, В.К. Физико-технические основы проектирования солнечных космических электростанций / В.К. Сысоев, К.М. Пичхадзе, А.А. Верлан // Проектирование автоматических космических аппаратов для фундаментальных научных исследований: сб. ст. / сост. В.В. Ефанов; под ред. В.В. Хартова, В.В. Ефанова. – М.: МАИ-Принт, 2014. – С. 778–830.*
8. *Концепция разработки космической солнечной электростанции / В.К. Сысоев [и др.] // Вестник «НПО им. С.А. Лавочкина». – 2011. – № 2. – С. 14–19.*
9. *Проблемы создания в космосе крупногабаритных конструкций / В.М. Мельников [и др.] // Полёт. Общероссийский научно-технический журнал. – 2015. – № 2. – С. 24–29.*
10. *Центробежные бескаркасные крупногабаритные космические конструкции / Г.Г. Райкунов [и др.]. – М.: Физматлит, 2009. – 448 с.*
11. *Космические солнечные электростанции – проблемы и перспективы / Г.Г. Райкунов [и др.]; под ред. Г.Г. Райкунова. – М.: РУДН, 2017. – 282 с.*
12. *Райкунов, Г.Г. Космические энергодвигательные системы: учеб. пособие / Г.Г. Райкунов, В.А. Комков, В.М. Мельников; под ред. Г.Г. Райкунова. – М.: РУДН, 2021. – 242 с.*
13. *Технология получения тонких защитных покрытий солнечных батарей для космической техники / А.С. Липатьев [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. – 2011. – Т. 25, № 5 (121). – С. 93–97.*
14. *Хмельницкий, Я.А. Разработка конструкции солнечной батареи с минимальной массой для космического аппарата / Я.А. Хмельницкий // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2017. – Т. 73, № 4. – С. 60–66.*
15. *Кожевников, Л.А. Солнечные элементы и батареи космического применения / Л.А. Кожевников // Решетнёвские чтения. – 2018. – Т. 1. – С. 126–127.*
16. *Преимущества космических солнечных электростанций с лазерным каналом передачи энергии / Г.Г. Райкунов [и др.] // Известия РАН. Энергетика. – 2012. – № 5. – С. 38–47.*
17. *Сигов, А.С. Лазерные системы для беспроводной передачи энергии / А.С. Сигов, В.Ф. Матюхин // Альтернативный киловатт. – 2012. – № 6. – С. 21–27.*
18. *Волоконные лазеры с солнечной накачкой, формируемые центробежными силами, как новое направление в создании космических информационно-энергетических систем / В.М. Мельников [и др.] // Космонавтика и ракетостроение. – 2014. – № 6. – С. 104–111.*
19. *Редько, И.Я. Концепция поэтапного развития распределённой энергетики с использованием аэрокосмических солнечных электростанций [Электронный ресурс] / И.Я. Редько, А.С. Сигов. – Режим доступа: https://www.c-o-k.ru/articles/koncepciya-poetapnogo-razvitiya-raspredelennoy-energetiki-s-ispolzovaniem-aerokosmi-cheskih-solnechnyh-elektrostanciy. – Дата доступа: 30.05.2021.*
20. *Сигов, А.С. Концепция поэтапного развития солнечных аэрокосмических энергетических комплексов / А.С. Сигов, В.Ф. Матюхин // Лазеры в науке, технике, медицине: сб. науч. тр. XXVII междунар. конф., Туапсе, 14–18 сент. 2016 г. // МГТУ им. Н.Э. Баумана [и др.]. – М.: МНТОРЭС им. А.С. Попова, 2016. – Т. 27. – С. 10–18.*
21. *Сигов, А.С. Пути развития солнечных стратосферных аэрокосмических энергетических комплексов с дистанционной передачей энергии / А.С. Сигов, В.Ф. Матюхин // Лазеры в науке, технике, медицине: сб. науч. тр. XXV междунар. конф., Туапсе, 11–15 сент. 2014 г. / МГТУ им. Н.Э. Баумана [и др.]. – М.: МНТОРЭС им. А.С. Попова, 2014. – Т. 25. – С. 50–60.*
22. *Перспективы, проблемы и пути создания лазерных космических электростанций / Г.Г. Райкунов [и др.] // Известия РАН. Энергетика. – 2017. – № 2. – С. 165–176.*
23. *Щеглов, Г.А. Экологические аспекты использования космических солнечных электростанций для производства информации на орбите / Г.А. Щеглов // Экология и промышленность России. – 2020. – Т. 24, № 10. – С. 50–56.*
24. *Космическая энергетика России: время переходить к практике / И.Я. Редько [и др.] // С.О.К. – 2016. – № 5. – С. 84–87.*
25. *Мельников, В.М. Перспективы создания и использования беспроводных систем передачи энергии / В.М. Мельников, Д.Ю. Паращук, Б.Н. Харлов / С.О.К. – 2015. – № 2. – С. 90–96.*
26. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.: ил.*
27. *Общепланетарное транспортное средство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://aet.space. – Дата доступа: 30.05.2021.*
28. *Юницкий, А.Э. Способы преобразования энергии солнечного излучения в электроэнергию для нужд космического индустриального ожерелья «Орбита» / А.Э. Юницкий, В.В. Янчук // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / Астроинженерные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 208–215.*

УДК 575.167

Проблемы генетической изменчивости человека в замкнутой экосистеме

Юницкий А.Э.[1,2]
Пятакова Т.И.[2]
Налётов И.В.[2]

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

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

Рассмотрены особенности существования человека в замкнутой экосистеме, лишённой взаимообмена веществами и энергией с внешней средой. При изучении учтены популяционные показатели динамики развития человека в условиях изоляции. Проанализированы теоретические аспекты процессов, протекающих внутри обособленной популяции (панмиксия, дрейф генов). Предложены возможные программы по искусственному поддержанию популяционных динамик в замкнутой экосистеме ЭкоКосмоДома (ЭКД).

Ключевые слова:
замкнутая экосистема, популяция человека, полиморфизм, изменчивость, наследственные болезни, генофонд, популяционная структура, наследственное разнообразие, криоконсервация, ЭкоКосмоДом (ЭКД).

Введение

Одна из рассматриваемых концепций пребывания человека в ЭкоКосмоДоме (ЭКД) связана с постоянным проживанием в условиях замкнутой экосистемы, что в свою очередь приводит к возникновению изолированной популяции людей.

Популяция предполагает экологическую, морфофизиологическую, генетическую целостность особей вида. В эволюционном процессе она считается единой, т. е. является независимой развивающейся структурой, элементарной эволюционной единицей.

Обычная популяция человека стремится к накоплению гетерозиготных признаков [1]. Подобное состояние признаков позволяет приобретать устойчивость к генетическим заболеваниям.

В настоящее время предоставляется всё больше научных обоснований, подтверждающих, что в будущем (в связи с необратимыми изменениями биосферы Земли) человеку придётся долгий период проводить в изоляции [2–4]. Это может происходить вследствие длительного пребывания в космических экспедициях или при необходимости жизни в замкнутых экосистемах (например, в ЭКД) в пределах земной орбиты, но вне земной биосферы [5].

При продолжительном существовании в замкнутых экосистемах люди столкнутся с рядом генетических факторов, таких как наследственные заболевания, дрейф генов, адаптация, изменчивость, и другими эволюционными процессами.

Научная новизна исследования – предложение создать генетический банк во избежание близкородственного скрещивания и для стремления популяции к гетерозиготному состоянию, т. е. к такому же развитию численности людей и их генетическому разнообразию, как и в условиях Земли.

Существование человека в рамках замкнутой экосистемы будет связано с двумя фундаментальными свойствами – наследственностью и изменчивостью.

Геномы всех людей имеют минимальные различия. Выраженное популяционное, этническое и индивидуальное разнообразие геномов обусловлено всевозможными рекомбинантными изменчивостями, приводящими к генетическому полиморфизму.

Вариации первичной структуры наследственной информации, вызванные полиморфизмом, составляют основу уникального генетического портрета каждого человека и определяют его особый биохимический профиль. Крайними выражениями наследственной изменчивости человека выступают наследственные болезни. Результатом полиморфизма, а также вариабельностью является предрасположенность каждого человека к тем или иным хроническим заболеваниям.

Цель данного исследования – изучение проблематики существования человека в условиях замкнутой экосистемы на уровне генетической информации и её наследственности; представление программы по эффективному поддержанию здоровой популяции в условиях замкнутой экосистемы.

Обзор литературы

Основная концепция полиморфизма в популяции человека

Полиморфизм человека возникает в единой панмиксной популяции; он возможен при двух и более разных фенотипах. Фенотипические признаки популяции могут быть нормальными или аномальными.

Проявление полиморфизма внутри численности населения ЭКД будет проходить по четырём основным процессам: геномному, хромосомному, переходному и сбалансированному (рисунок 1) [6, 7].

На планете Земля численность населения характеризуется небольшими генетическими различиями как на уровне популяции, так и для индивидуальных геномов. Генетическая вариабельность проявляется в виде кластеризации географически близких совокупностей родов, расселённых по всей территории земной суши [8].

Между собой люди в популяции различаются на 10–15 %. В ходе расселения под действием миграций, дрейфа генов и резких изменений эффективной численности биологических видов сформировались структуры генетического разнообразия [9, 10].

Помимо этого, естественный отбор определил генетическое разнообразие в мировом масштабе на протяжении всего времени существования человечества. Не менее важную роль сыграла и адаптация популяции к локальной среде обитания.

Многообразие и изменчивость генофонда человека в замкнутой экосистеме

В популяцию входят особи как с доминантными, так и с рецессивными признаками, не находящимися под контролем естественного отбора. Согласно закону Г. Менделя доминантные признаки подавляют рецессивные; при расщеплении по фенотипу у потомков второго поколения, т. е. условно чистых линий, наблюдается превосходство по численности преобладающих показателей, что составляет 3/4 части. Однако в популяции, стремящейся к накоплению

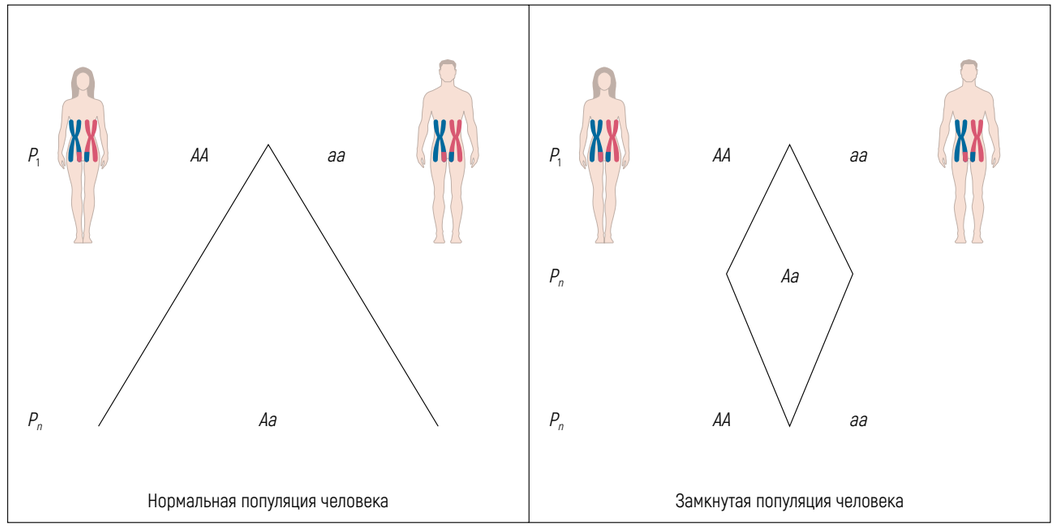


Рисунок 1 – Стремление популяции человека к гетерозиготному состоянию:
A – доминантный признак; *a* – рецессивный признак; *P* – родители (P_1, P_n и т. д.)

гетерозиготных особей, доминантная аллель не может полностью вытеснить рецессивную. Данная закономерность рассматривается законом Харди – Вайнберга. Такая популяция характеризуется большой численностью, свободным скрещиванием (панмиксией), отсутствием мутаций и естественного отбора [11].

Проблема популяции, находящейся в замкнутой среде обитания, заключается в том, что закон Харди – Вайнберга имеет ряд исключений. Например, численность должна быть достаточно большой, теоретически – неограниченного размера. В популяции ЭКД это не представляется возможным. Значит, в небольшой замкнутой популяции нарушится соотношение особей с доминантными и рецессивными признаками; как следствие, постепенно будет происходить переход к гомозиготному состоянию.

Влияние элементарных эволюционных факторов на изменение генофонда численности человеческого населения сводится к действию мутационного процесса, миграциям, дрейфу генов, естественному отбору [8].

Рассматриваемые проблемы связаны с бесконечно долгим существованием человека в ЭКД. Человеческая популяция в замкнутой экосистеме будет изолированной. Такая обособленность приводит к родственным бракам, инбридингу и дрейфу генов, что влечёт за собой проявление рецессивных патологических генов в гомозиготном состоянии и способствует увеличению смертности. В популяциях земной биосферы этого удаётся избежать за счёт миграции и ряда других факторов.

Миграцию рассматривают как один из основных факторов динамики, изменяющих уровень генетического разнообразия в популяционной генетике [12]. Особо близкая к ЭКД модель популяционной структуры – «островная» – представляет собой совокупность частично изолированных популяций, обменивающихся мигрантами (модель «изоляты»). Схожим способом объединён с демографическими параметрами показатель инбридинга. Следовательно, с одной стороны, усиление миграции между субпопуляциями понижает уровень межпопуляционного разнообразия, а с другой – путём сокращения частоты аутосомно-рецессивных патологий понижает инбридинг и уровень генетического багажа в популяции, не касаясь частностей.

Если рассматривать городские популяции, большое влияние на них оказывает такой фактор, как переселение в отдалённые города, которого жители ЭКД будут лишены. Миграция увеличивает не только численность, но и наследственное разнообразие популяции. Интенсивность перемещений и качественный состав мигрантов влияют на изменения генофонда, происходящие за одно поколение. Чем выше доля мигрантов и чем больше различия между ними и коренным населением, тем значительнее генетический эффект.

В замкнутой популяции ЭКД число мигрантов можно заменить генетическим материалом из генбанка (рисунок 2).

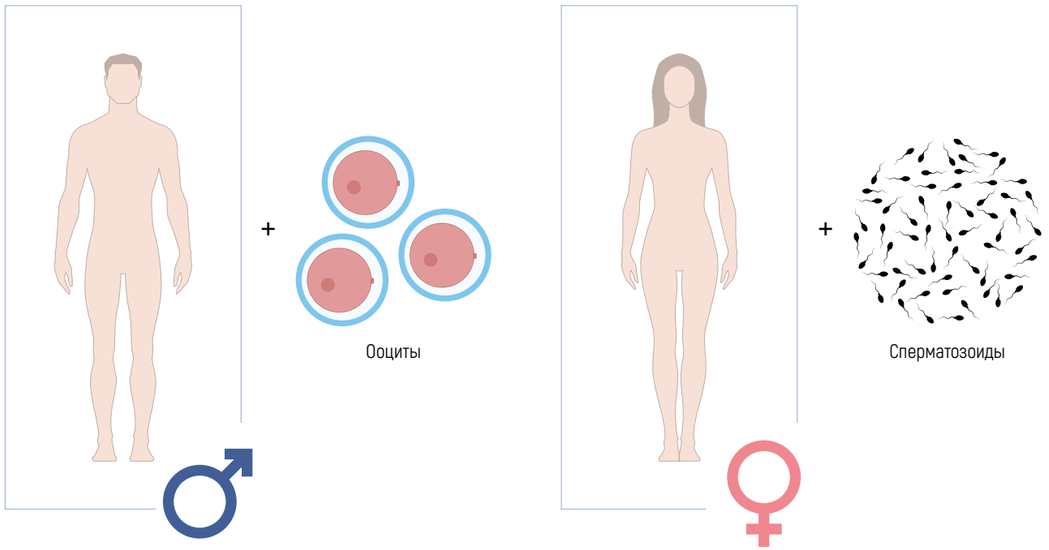


Рисунок 2 – Схема движения генетической информации в замкнутой популяции ЭКД

Отбор генетического материала в каждом поколении популяции человека позволит сохранить равновесие доминантных и рецессивных признаков, а также тенденцию к поддержанию гетерозиготного состояния численности. Для того чтобы избежать близкородственного скрещивания и получить наиболее разнообразные генотипы, отобранный генетический материал можно задействовать только после сотого поколения. До момента применения отобранного генетического материала всех предыдущих поколений ЭКД предполагается использование заранее созданного генбанка, взятого (согласно определённым критериям и признакам) из различных популяций человека на планете Земля.

Наследственные болезни человека

При аутосомно-доминантном типе наследования проявление гена в гетерозиготном состоянии чаще встречается у женщин, причём сразу в первом поколении. По такому типу наследуются веснушки, брахидактилия, катаракта, хрупкость костей, хондродистрофическая карликовость, полидактилия. Кроме этого, наследуются такие признаки, как пигментный дерматоз, кератоз, пузырчатость стоп ног, коричневая эмаль зубов.

При мутации признаков, сцепленных с полом, фенотип проявляется только в гомозиготном (рецессивном) состоянии генов у лиц обоих полов (чаще у мужчин). Как правило, у здоровых родителей, но носящих рецессивный ген, рождаются больные дети с вероятностью 50 %. При этом больны будут только мальчики, а девочки с вероятностью 50 % окажутся носителями рецессивного гена. Однако признак проявляется не в каждом поколении. Таким образом наследуются гемофилия, мышечная дистрофия Дюшена, дальтонизм, миопатия и др. При Y-сцепленном типе больны только мужчины. Данные признаки определяются голандрическими генами (например, гипертрихоз, азооспермия, ихтиоз) [13, 14].

Частота заболеваний прямо обусловлена разницей в частотах аллелей в популяции. Дрейф генов и эффекты родительских признаков – главные факторы популяционной динамики, формирующие картину популяционных различий в отягощённости наследственных болезней [15]. При стабильной численности популяции ведущую роль играет дрейф генов. Резкие изменения эффективной численности (популяционные волны) усиливают роль дрейфа генов.

Значение естественного отбора в дифференциации популяции по генам наследственных болезней в целом невелико, поскольку мутации, порождающие наследственные болезни, снижают приспособленность больных независимо от их этнического или географического происхождения. Однако мутации могут приводить и к положительным эффектам, таким как появление устойчивости к болезням. Частота возникновения такого приобретённого свойства равна 2 % случаев мутаций [16, 17].

В распространённости наследственных болезней роль дрейфа генов и эффекта основателя хорошо объясняет накопление некоторых форм наследственной патологии в отдельных популяциях. Известно более 20 наследственных болезней (в основном аутосомно-рецессивных) у населения, проживающего на Скандинавском полуострове, частота которых значительно выше, чем в любых других популяциях. Феномен накопления наследственных болезней в данной местности связывают с эффективным дрейфом, долговременной генетической изоляцией и высоким коэффициентом инбридинга [18]. У части европейских жителей описано минимум два десятка болезней, возникающих с высокой частотой [19].

Общие структуры генетического разнообразия современного человека сформировались в ходе расселения под действием миграций, дрейфа генов и резких изменений эффективной численности населения. Роль естественного отбора для отдельных участков генома незначительна как в формировании генетического разнообразия в глобальном масштабе (например, по генам иммунного ответа или пигментации кожи), так и при адаптации популяции к локальным условиям среды (например, по генам метаболизма веществ, поступающих с пищей).

В генофондах преобразование популяции протекает под воздействием комплекса эволюционных факторов. Важное значение имеет естественный отбор, а также давление мутаций. Если конкретный аллель поддерживается естественным отбором, то носители данного аллеля (как наиболее адаптированные) характеризуются предпочтительным размножением. Отбор вытесняет все без исключения прочие аллели. Естественный отбор в человеческой популяции функционирует в равной степени против и гомозигот (доминантных и рецессивных), и гетерозигот.

Популяция человека в ЭКД будет лишена не только естественного отбора, но и других эволюционных факторов – мутационного процесса, миграций, дрейфа генов. Для того чтобы предотвратить в замкнутой популяции накопление вышеперечисленных и других наследственных заболеваний, необходимо поддерживать изменение генофонда за счёт генетического банка.

Программа генетического движения популяции

Важно, чтобы движение популяции не прекращалось. Соответственно, следует создать банк генетического материала, который позволит решить ряд проблем, возникающих с притоком и оттоком генетической информации в численности населения. Данный подход обусловлен следующей причиной: согласно проведённым генетическим расчётам на основе 16 особей (первое поколение), из которых восемь – женского пола, восемь – мужского, при скрещивании между собой в итоге к пятому поколению остаётся единственный представитель (рисунок 3).

На рисунке 4 показано, что при скрещивании двух родителей, носящих ген альбинизма, происходит стандартное

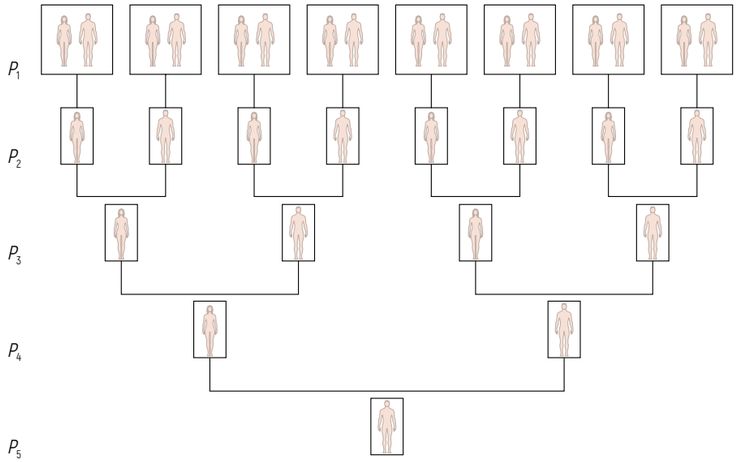


Рисунок 3 – Схема, демонстрирующая проблему популяции человека в замкнутой экосистеме:
P – родители (P_1, P_2, P_3 и т. д.)

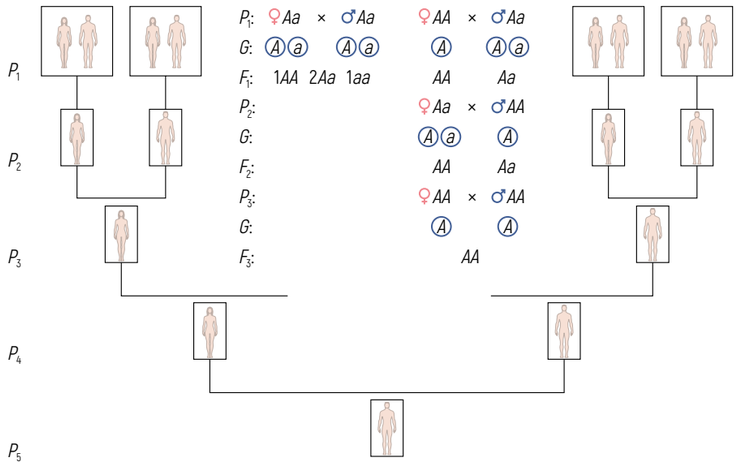


Рисунок 4 – Схема, демонстрирующая признак, наследуемый в аутосомах:
A – нормальный пигмент кожи (доминантный признак); *a* – альбинизм (рецессивный признак);
P – родители (P_1, P_2, P_3 и т. д.); *F* – поколение (F_1, F_2, F_3 и т. д.); *G* – гаметы

расщепление по генотипу, описанному во втором законе Менделя. Однако при скрещивании двух родителей, один из которых является носителем гена, а второй – здоров, наблюдаем, как поколение стремится к накоплению гомозиготных признаков. Важно уточнить, что альбинизм наследуется по аутосомно-рецессивному типу наследования.

Исходя из приведённых выше расчётов, можно утверждать: к сотому поколению произойдёт смешение генетического материала, что повлечёт за собой накопление гомозиготных признаков среди населения ЭКД.

Отбор генетического материала (сперматозоидов и ооцитов – клеток-предшественников гаплоидных половых клеток человека) и его криоконсервация помогут избежать в первом и последующих поколениях близкородственного скрещивания и поддержать тенденцию гетерозиготного состояния популяции. У первого поколения, поселившегося в ЭКД, сразу будут взяты тотипотентные стволовые клетки и переданы в генетический банк ЭКД (рисунок 5).

Генбанк начнёт действовать со второго поколения, у которого также будет производиться отбор генетического материала для криоконсервации и использования клеток в искусственном оплодотворении сотого поколения, проживающего в ЭКД.

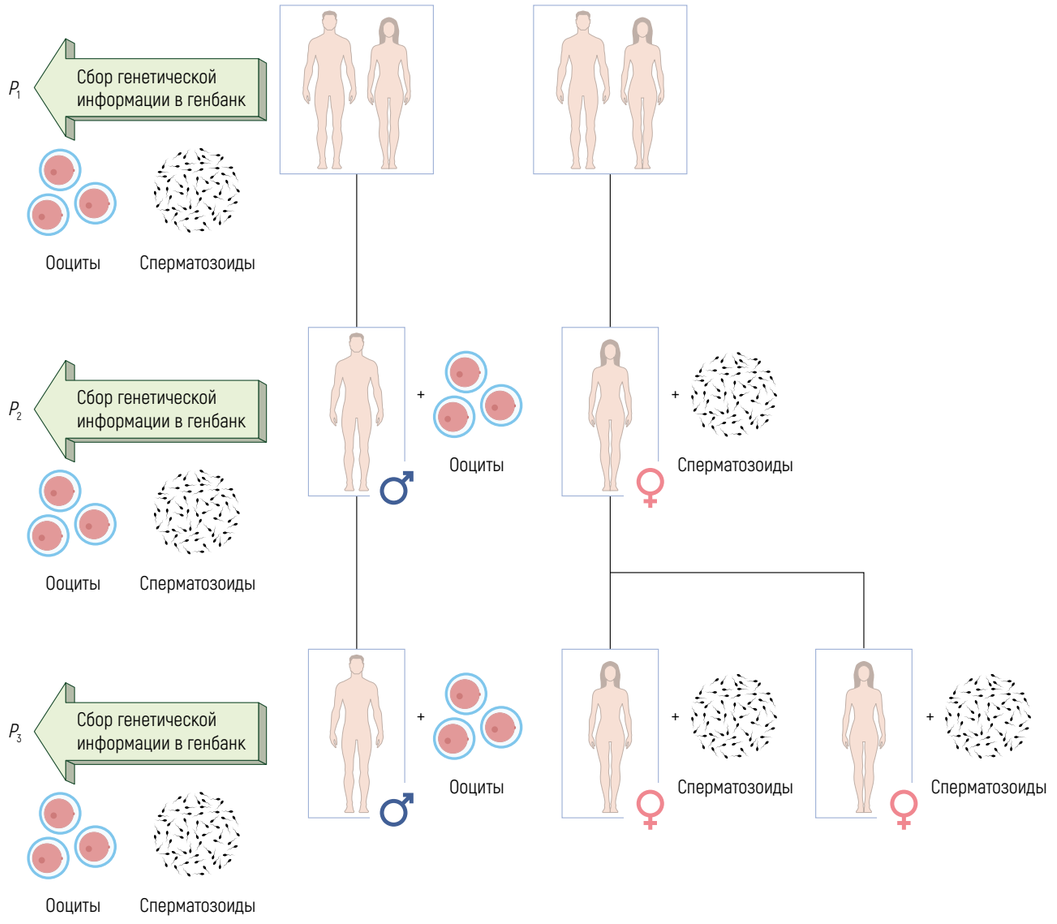


Рисунок 5 – Роль генбанка человеческой наследственной информации в замкнутой экосистеме:
P – родители (P_1, P_2, P_3 и т. д.)

Человечеством используются генетические банки для искусственного оплодотворения при лечении мужского и женского бесплодия [20]. Наличие хранилищ генетического материала позволит избежать наследственных заболеваний, дрейфа генов, адаптации, борьбы за существование, изменчивости и других эволюционных факторов.

Отобранный у первых жителей ЭКД материал будет задействован только после сотого поколения для получения наиболее разнообразных генотипов внутри популяции закрытой экосистемы. До сотого поколения предполагается использование хранящегося в генбанке ЭКД заранее заготовленного генетического материала, взятого из различных популяций человека на планете Земля.

Каждое последующее поколение ЭКД, начиная со второго, должно применять генетический банк как источник создания здорового и прогрессивного потомства, а также вносить свои тотипотентные стволовые клетки для пополнения генетического разнообразия банка.

Согласно методам криоконсервации при быстрой заморозке яйцеклеток (витрификации ооцитов), в отличие от медленной, кристаллам льда не удаётся образоваться на поверхности и внутри яйцеклеток. В результате данный генетический материал (98 %) сохраняет свои жизненные свойства.

Срок резервации яйцеклеток в замороженном виде не оказывает отрицательного влияния на их жизнеспособность. Повреждение может произойти только на этапе заморозки или оттаивания. Рекомендованный период заморозки яйцеклетки составляет 5–7 лет.

Точный период сохранения жизнеспособности сперматозоидов ещё не выяснен. На сегодняшний день самый долгий срок их криоконсервации – 21 год. При использовании подобных сперматозоидов наблюдалось удачное оплодотворение яйцеклетки с последующей здоровой беременностью [21].

Выводы и дальнейшие направления исследования

В результате анализа научных исследований всесторонне оценена вероятность возникновения гомозиготного движения популяции человека в ЭКД.

Биологический эффект отдельных мутаций или полиморфизмов в отношении болезни, как правило, стабилен и не зависит от расового, этнического или географического контекста. При этом сила эффекта, т. е. относительный вклад маркера в болезнь или риск её развития, может значительно варьироваться на популяционном и индивидуальном уровнях по причине различного генетического (гаплотипического) окружения, модифицирующих взаимодействий «ген – ген» и «ген – среда».

Следовательно, появление мутаций в ходе естественного отбора неизбежно, если в популяцию не будет поступать новая генетическая информация. Это важно для эволюционно стабильного развития всех без исключения популяций, включая животных и растения. Исходя из вышеизложенного, внесено предложение о создании генбанка человека; подобный подход позволит решить проблемы с генетической информацией. Для формирования генбанка предлагается вести отбор генетического материала и производить его криоконсервацию, что является необходимостью в целях поддержания бесконечно долгого существования человека в замкнутой экосистеме ЭКД.

В последующих исследованиях созданная схема движения генетической информации в замкнутой популяции ЭКД будет совершенствоваться для дальнейшей реализации и включения в масштабный проект построения ЭкоКосмоДома, что обеспечит стабильную жизнь как человека, так и всех представителей позвоночной фауны планеты. К растениям планируется применить двойной метод сохранения генетической информации – крионику калусных тканей и сбережение гаплоидных половых клеток. Кроме того, исследования будут направлены на решение вопросов, связанных с хранением генетической информации в замкнутых популяциях, а также затрагивающих необходимый обмен и способы внедрения генбанка в замкнутые экосистемы.

Литература

1. *Брусницина, В.Ю. Генетический полиморфизм и эндометриоз (обзор литературы) / В.Ю. Брусницина // Вестник Уральской медицинской академической науки. – 2009. – № 4 (27). – С. 7–10.*
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. / Астроинженерные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 23–29.*
3. *Эдельброк, Э.К.А. Компания SpaceBorn United: планируемые миссии по зачатию человека и родам в космосе / Э.К.А. Эдельброк // Воздушно-космическая сфера. – 2019. – № 4 (101). – С. 26–36.*
4. *Кричевский, С.В. Искусственная гравитация для людей в космосе: эволюция идей, технологий, проектов / С.В. Кричевский // Воздушно-космическая сфера. – 2020. – № 3 (104). – С. 10–21.*
5. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.: ил.*
6. *Глотов, О.С. Генетический полиморфизм и старение / О.С. Глотов, В.С. Баранов // Успехи геронтологии. – 2007. – Т. 20, № 2. – С. 35–55.*
7. *Cavalli-Sforza, L.L. The Genetics of Human Populations / L.L. Cavalli-Sforza, W.F. Bodmer. – San Francisco: W.H. Freeman, 1971. – 965 p.*
8. *Генетический полиморфизм иммуногенной сигнальной системы / Цыган В.Н. [и др.] // Журнал инфектологии. – 2011. – Т. 3, № 2. – С. 21–27.*
9. *Qidwai, T. Chemokine Genetic Polymorphism in Human Health and Disease / T. Qidwai // Immunology Letters. – 2016. – Vol. 176. – P. 128–138.*
10. *Одинокова, О.Н. ДНК-диагностика и медико-генетическое консультирование при муковисцидозе в сибирском регионе / О.Н. Одинокова, Л.П. Назаренко // Генетика человека и патология: сб. науч. тр. VIII конф., Томск, 28–30 нояб. 2007 г. / Науч.-исслед. ин-т мед. генетики. – Томск: Печатная мануфактура, 2007. – Вып. 8. – С. 173–178.*
11. *Гриненко, Г.Н. Генетика популяций. Закон Харди – Вайнберга / Г.Н. Гриненко // Методист. – 2018. – № 8. – С. 43–45.*
12. *Slatkin, M. The Use of Intraallelic Variability for Testing Neutrality and Estimating Population Growth Rate / M. Slatkin, G. Bertorelle // Genetics. – 2001. – Vol. 158, No. 2. – P. 865–874.*
13. *Генетическая структура и наследственные болезни чувашской популяции / под ред. Е.К. Гинтера. – Чебоксары: Пегас, 2006. – 232 с.*
14. *Jobling, M.A. Human Evolutionary / M.A. Jobling, M.E. Hurles, C. Tyler-Smith. – New York: Garland Science, 2004. – 523 p.*
15. *Wiuf, C. Do ΔF508 Heterozygotes Have a Selective Advantage? / C. Wiuf // Genetics Research. – 2001. – Vol. 78, No. 1. – P. 41–47.*
16. *De la Chapelle, A. Disease Gene Mapping in Isolated Human Populations: The Example of Finland / A. De la Chapelle // Journal of Medical Genetics. – 1993. – Vol. 30. – P. 857–865.*
17. *Peltonen, L. Messages from an Isolate: Lessons from the Finnish Gene Pool / L. Peltonen, P. Pekkarinen, J. Aaltonen // Biological Chemistry Hoppe-Seyler. – 1995. – Vol. 376. – P. 697–704.*
18. *Kedar-Barnes, I. The Jewish People: Their Ethnic History, Genetic Disorders and Specific Cancer Susceptibility / I. Kedar-Barnes, R. Paul // Familial Cancer. – 2004. – Vol. 3. – P. 193–199.*
19. *Masel, J. Genetic Drift / J. Masel // Current Biology. – 2011. – Vol. 21, No. 20. – P. R837– R838.*
20. *Нетеса, Д. Как это устроено: банки спермы, донорство и применение биоматериала [Электронный ресурс] / Д. Нетеса. – 2017. – Режим доступа: https://letidor.ru/zdorove/kak-eto-ustroeno-banki-spermy-donorstvo-i-primenenie-biomateriala.htm. – Дата доступа: 15.06.2021.*
21. *Кечиян, К.Н. Криоконсервация в репродуктологии: зачем нужна заморозка яйцеклеток, спермы, эмбрионов и сколько стоит процедура? [Электронный ресурс] / К.Н. Кечиян. – 2018. – Режим доступа: https://www.kp.ru/guide/kriokonservatsija-spermy-iembrionov-i-jaitsekletok.html. – Дата доступа: 15.06.2021.*

УДК 641.1/3

Разработка универсального рациона питания жителей ЭкоКосмоДома

Зыль Н.С.
Шахно Е.А.

ЗАО «Струнные технологии»,
г. Минск, Беларусь

Рассмотрен вопрос обеспечения полноценным и разнообразным питанием жителей замкнутой экосистемы – ЭкоКосмоДома (ЭКД). Учтены особенности рациона питания в замкнутых экосистемах, профилактика метаболического синдрома, пути исключения проблем, связанных с непереносимостью лактозы, целиакией. Предложено универсальное меню для жителей ЭКД, которое соответствует общим требованиям к здоровому питанию и особенностям рациона в замкнутых экосистемах. Пищевой комплекс подобран таким образом, чтобы максимально упростить организацию замкнутого биотехнологического цикла, предполагающего помимо получения высококачественной биопродукции полную переработку отходов. В качестве источников пищи в ЭКД представлены высокопроизводительные живые организмы. Цель настоящего исследования – теоретический подбор оптимального набора продуктов, которые с минимальными затратами ресурсов могут быть изготовлены в замкнутой экосистеме. Новизна и уникальность данной работы обусловлены тем, что составленный авторами рацион подходит максимально широкому кругу людей, в том числе лицам, страдающим метаболическим синдромом, непереносимостью лактозы, целиакией.

Ключевые слова:
рацион питания, биопроизводство, витамины, замкнутая экосистема, макроэлементы, микроэлементы, метаболический синдром, непереносимость лактозы, целиакия, ЭкоКосмоДом (ЭКД).

Введение

ЭкоКосмоДом (ЭКД) представляет собой неотъемлемую часть жилой и производственной инфраструктуры орбитального индустриального комплекса – космического индустриального ожерелья «Орбита» (КИО «Орбита»). При этом он является, по сути, замкнутой экосистемой, в которой все жители должны получать сбалансированное, полноценное питание [1].

Здоровое питание – это питание, обеспечивающее рост, нормальное развитие и жизнедеятельность человека, способствующее укреплению его здоровья и профилактике заболеваний [2, 3]. В основе составления любого рациона лежит такое понятие, как баланс макро- и микронутриентов, т. е. пища ещё и восполняет потребности человеческого организма в необходимых макро-, микро-, ультраэлементах и биологически активных веществах, а не просто имеет достаточную калорийность [4–6].

Питание жителей ЭКД должно обеспечивать:

- получение полного набора макро- и микронутриентов;
- достижение энергетического баланса и нормального веса;
- ограничение насыщенных жиров (до 30 % и менее от общего потребления энергии), их замену ненасыщенными жирами (90 % и более);
- потребление оптимального количества фруктов и овощей, а также бобовых, цельнозерновых продуктов, орехов (минимум 400 г свежих фруктов и овощей в сутки);
- уменьшение поступления свободных сахаров до 10 % и менее от общего потребления энергии;
- сокращение потребления соли (натрия) до 5 г и менее в день, частичную её замену солями калия (хлорид калия) [7].

Несмотря на ограниченное пространство для биопроизводства продукции, меню жителей ЭКД должно быть максимально приближено к земному. Вместе с тем при его составлении важно учитывать особенности питания в замкнутой экосистеме. Ассортимент также должен быть разнообразным, но не избыточным, т. е., используя минимальное количество источников пищевых продуктов, необходимо получить максимальную пользу и лучшие вкусовые качества.

При разработке рациона жителей ЭКД следует предусматривать простоту утилизации образующихся органических остатков и стремиться к минимальному их объёму.

Правильный подбор питания в ЭКД – крайне важный вопрос, который определяет здоровье, самочувствие, работоспособность и долголетие людей [8].

Профилактика метаболического синдрома, исключение проблем, связанных с непереносимостью лактозы, целиакией

При составлении сбалансированного меню для жителей ЭКД нужно исходить из наиболее частых причин расстройства здоровья, возникающего вследствие неправильного питания на Земле. Несмотря на универсальность рекомендаций, каждый проживающий в ЭКД должен знать, какое питание для него предпочтительнее, чтобы не спровоцировать возможные аллергические реакции, и в соответствии с этим скорректировать свой рацион [9].

Одними из часто встречающихся недомоганий, связанных с питанием, являются метаболический синдром, непереносимость лактозы и целиакия. Следует сконцентрировать усилия на предотвращении этих проблем, напрямую влияющих на самочувствие и здоровье человека.

Метаболический синдром – это комплекс явлений, который включает в себя абдоминальное ожирение, нарушение углеводного обмена, дислипидемию и артериальную гипертензию. Встречается в среднем у 10–20 % населения развитых стран [10].

Лучшей профилактикой данного заболевания считаются немедикаментозные методы, в частности снижение общей калорийности продуктов с сохранением всех важных для здоровья макро- и микронутриентов и увеличение физической активности [11]. В составе рациона требуется снизить долю насыщенных жирных кислот и повысить долю ненасыщенных [12, 13].

Кроме того, для лечения и предупреждения возникновения метаболического синдрома планируется использовать травяные сборы, обладающие гипогликемическим, гиполипидемическим и гипотензивным действием. В их состав войдут корень имбиря, плоды аронии черноплодной, плоды шиповника коричного, створки фасоли обыкновенной, листья шелковицы белой, трава галеги лекарственной, листья смородины чёрной, плоды лимонника китайского, трава тимьяна ползучего, листья шалфея лекарственного, листья крапивы двудомной [14–16].

Предлагаемый рацион жителей ЭКД скорректирован в сторону увеличения доли полиненасыщенных жирных кислот, что также способствует предотвращению развития метаболического синдрома.

Непереносимость лактозы проявляется во вздутии живота, диарее, тошноте и других симптомах, возникающих при употреблении молочных продуктов, содержащих лактозу. Проблему непереносимости лактозы (страдают в среднем около 20 % населения) предлагается решать в условиях ЭКД заменой молочных продуктов их растительными аналогами – растительным молоком и соевым сыром [17]. Растительное, или постное, молоко не является 100-процентной заменой обычному, однако по многим характеристикам ему не уступает. Его производство, очевидно, не требует разведения молочных животных. Содержание и уход за такими животными – трудоёмкая технология, тогда как растительное молоко изготавливается в значительном объёме без высоких издержек благодаря применению относительно несложного оборудования (в большинстве случаев достаточно нагревательного и измельчительного оборудования) [18]. При этом людей, которым молоко жизненно необходимо, не существует. Его употребление – вопрос вкусовых предпочтений. В целом при дальнейшем развитии тематики животное молоко и молочные продукты (в том числе ферментированные и безлактозные) могут быть добавлены в рацион питания жителей ЭКД.

В настоящее время предлагается множество видов растительного молока:

- овсяное, рисовое, кукурузное, полбяное (сырьё – злаковые);
- соевое, арахисовое, люпиновое, из вигны и мукуны (сырьё – зернобобовые);
- миндальное, кокосовое, фисташковое, кедровое, из грецкого ореха и фундука (сырьё – орехи);
- кунжутное, льняное, конопляное, подсолнечное (сырьё – масличные семена);
- амарантовое, из киноа, тефа (сырьё – псевдозерновые культуры).

Широкое разнообразие исходного продукта, применяемого для приготовления постного молока, позволит каждому выбрать для себя наиболее подходящее по вкусу [19].

Другой важной проблемой современного питания является целиакия (в той или иной форме страдают 0,2–6 % населения в различных регионах мира [20]). Целиакия вызывается глиадином – одной из фракций глютена, содержащегося в клейковине злаковых культур (пшенице, ячмене, ржи). Данное заболевание возникает у человека, генетически к нему предрасположенного, и характеризуется

атрофией ворсин слизистой оболочки тонкой кишки, вследствие которой проявляются такие симптомы, как боли в животе, тошнота, диарея [21].

Для того чтобы предотвратить развитие целиакии, из рациона склонных к ней людей нужно исключить пшеницу, ячмень и рожь, заменив их на гречиху, пшено, киноа и другие зерновые или псевдозерновые культуры. Ценность питания от этого не снизится; минусы подобной безглютеновой диеты могут быть связаны лишь со вкусовыми предпочтениями [22, 23].

Особенности рациона питания в замкнутой экосистеме

В ЭКД (несмотря на то что это космический объект) планируется воспроизвести условия жизни, намного более близкие к земным, чем условия на действующих космических кораблях. В ЭКД предполагается реализовать максимально благоприятный климат и создать аналог земного притяжения. Такое решение позволит обеспечить жителей полноценным питанием, полученным непосредственно внутри замкнутой биосферы. В данном случае также не будет ограничений, которые присущи меню космонавтов (например, не потребуется использовать вместо природных источников кальция специальные препараты для восполнения дефицита в нём или ограничивать размер буханок хлеба до «одного укуса», чтобы предотвратить разлетание крошек) [24].

Стоит учитывать некоторые нормы питания космонавтов в тех случаях, когда они применимы. Таким обязательным критерием является достаточное количество питательных веществ. Космонавты должны быть обеспечены ими в соответствии с потребностями организма, возникающими на разных этапах космического полёта. Условия жизнедеятельности и работ при этом экстремальные, следовательно, недостаток важных питательных веществ недопустим [25].

Люди, находящиеся на МКС, получают продукты питания приблизительно на двухнедельный срок. Их рацион состоит из основной и дополнительной частей. Основная доля комбинируется из пищи, специально изготовленной для космонавтов, и из продуктов промышленного производства, прошедших определённые испытания.

В ЭКД не предполагается поставка продуктов извне, как и формирование подобных пищевых наборов. Его жители должны принимать здоровую и полноценную еду в привычной форме, несмотря на то что сама замкнутая экосистема находится в космосе.

Источники пищи в ЭКД и утилизация отходов

Для биопроизводства растительной и животной пищи планируется использовать технологии, позволяющие получить максимум продукции с 1 м^3 пространства. Важным фактором при этом является объём вырабатываемого растениями кислорода и его потребление животными, что стоит учитывать при расчёте всей системы [26, 27].

Основные технологии, которые будут задействованы для выращивания растений, – это применение лёгких почвогрунтов и гумусопоники (аэропоники на основе жидкого гумуса) [28–31]. Лёгкие почвогрунты и питательные растворы для гумусопоники должны обладать достаточным содержанием минеральных компонентов и органического вещества гумуса. Он имеет в своём составе 86 обнаруженных в человеческом организме элементов, поэтому из него растения возьмут полный набор макро-, микро- и ультраэлементов в виде солей органических соединений, которые затем в ЭКД будут использоваться другими живыми организмами.

В качестве источника животной пищи выступят животные, которые дают максимальное количество пищевого сырья, отличаются неприхотливостью в уходе и относительно небольшими размерами (например, морские свинки или кролики) [32].

Важным компонентом питания является вода. В организме человека она обычно составляет до 75 % массы тела и выполняет множество функций. В среднем её необходимо потреблять не менее 1,5–2 л в сутки. Качество используемой воды во многом определяет здоровье человека: с ней он получает многие микро- и ультраэлементы [33]. Воду в ЭКД предлагается обогащать микроэлементами, пропуская через минералы, что придаст ей лечебный эффект [34].

Пищевую соль в ЭКД планируется заменить на высушенные растения-галофиты: солерос, лебеду соляную. Данные культуры не только заменяют обычную соль, но и считаются источниками ценных биологически активных веществ [35].

Для того чтобы вернуть в экосистему полезные элементы, в условиях ЭКД будет организован цикл утилизации отходов. Он включает в себя этап переработки, проходящий с участием макро- и микроорганизмов и схожий с тем, что наблюдается в живой природе. Это высокоэффективный процесс с дополнительным использованием дождевых червей, личинок мух и других мелких животных. Для получения гумуса из органических отходов будет также применяться переработка при помощи анаэробных микроорганизмов, которые во время своей жизнедеятельности не нуждаются в кислороде и, соответственно, не поглощают его из атмосферы. В результате образуется плодородный гумус, содержащий все необходимые для живых организмов элементы. Воду, как и другие компоненты пищи, не планируется доставлять в ЭКД отдельно: она будет возвращаться в экосистему из органических отходов и сточных вод в процессе их естественной микробиологической переработки в толще грунта.

Некоторые отходы, например растительные остатки, уместно преобразовывать не в гумус, а в компост, пригодный для выращивания целлюлозоразрушающих грибов (вешенки, шиитаке и др.) [36].

В ЭКД бытовую химию должны полностью заменить растительные экологичные аналоги, так как текущий научно-технический уровень развития экопроизводства позволяет осуществить это в полном объёме. При использовании экологичных моющих и других средств будет исключено их негативное влияние на почвенные микроорганизмы и человека [37].

Универсальный рацион питания жителей ЭКД

Универсальный рацион питания жителей ЭКД, теоретически разработанный с учётом обозначенных выше требований, представлен в таблице. Комбинируя приведённые продукты и используя всевозможные способы приготовления, можно получить разнообразное меню.

Таблица – Универсальный суточный рацион жителей ЭКД

Продукт питания	Масса, г	Калорийность, ккал/100 г	Калорийность, ккал	Полезные нутриенты
1	2	3	4	5
Мясо перепёлок	100	134	134	Незаменимые аминокислоты, мононенасыщенные и полиненасыщенные жирные кислоты, цинк, хром, железо, фосфор, калий
Мясо морских свинок	100	156	156	Незаменимые аминокислоты, витамины PP, B_2, кальций, хром, натрий, магний, калий, железо, фосфор
Яйца перепёлок (используются со скорлупой)	90	155	139,5	Витамины A, B_1, B_2, PP, микро- и макроэлементы (кальций, железо, фосфор, калий, кобальт, медь), незаменимые аминокислоты (треонин, тирозин, глицин, лизоцин и гистидин)
Грибы (вешенка, шиитаке)	200	34	68	Аминокислоты, микроэлементы, витамин D, ферменты (амилаза, липаза, уреаза, цитаза и др.), способствующие расщеплению жиров, клетчатки, гликогена
Форель	150	97	145,5	Незаменимые аминокислоты, витамины B_1, B_2, B_5, B_{12}, D, PP, холин, калий, фосфор, марганец, медь, селен
Креветки	50	55	27,5	Незаменимые аминокислоты, витамины B_{12}, D, цинк, медь, марганец
Мука пшённая	75	342	256,5	Полисахариды, клетчатка, магний, витамины E, B_1, B_2, B_5, фолиевая кислота, кальций, фосфор, цинк, медь, железо, марганец
Мука гречишная	75	329	246,8	Полисахариды, клетчатка, магний, витамины B_1, B_5, PP, кремний, фосфор, железо, кобальт, марганец, медь
Картофель	450	77	346,5	Полисахариды, витамины C, B_6, калий, магний, цинк, фосфор
Чуфа (земляной миндаль)	40	609	243,6	Витамины группы B, а также витамины A, C, E, медь, йод, селен, калий, натрий, цинк
Сыр Тофу (соя)	50	70	35	Аминокислоты, витамины B_1, B_2, B_3, B_4, калий, кальций, магний, фосфор
Томаты	150	20	30	Ликопин, клетчатка, витамины A, C, B_1, B_2, калий
Капуста	100	25	25	Клетчатка, витамины A, B_1, B_6, C, калий, фосфор, кобальт, медь, цинк, магний
Лук	20	50	10	Витамины C, E, K, бета-каротин, кремний, кобальт, марганец
Яблоки	200	47	94	Простые углеводы, пектин, биотин, витамины A, C, B_1, B_2, PP, E, калий, магний, фосфор, йод, железо
Виноград	120	72	86,4	Простые углеводы, антоцианы, витамины C, A, B_2, B_9, бета-каротин, калий, фосфор
Редис	50	16	8	Витамин C, кобальт, медь, молибден, хром

Окончание таблицы

1	2	3	4	5
Микрозелень подсолнечника	100	62	62	Полиненасыщенные жирные кислоты Омега-3 и Омега-6, заменимые и незаменимые аминокислоты, витамины B_1, B_5, B_6, B_9, E, никотиновая кислота
Микрозелень гороха	50	124	62	Полиненасыщенные жирные кислоты Омега-3 и Омега-6, витамины B_1, B_5, B_6, B_9, C, PP, калий, магний, фосфор, железо
Салат	50	12	6	Клетчатка, витамины B_1, B_9, железо, кальций, магний, калий
Руккола	50	25	12,5	Клетчатка, витамины A, B_9, C, K, бета-каротин, калий, кальций, магний, марганец
Мёд	25	329	82,3	Простые углеводы, витамины группы B, а также витамины K, E, C, магний, калий, сера, цинк, йод, медь
Чайный гриб (напиток)	200	32	64	Витамины группы B, органические кислоты, аминокислоты, ферменты, полифенолы
Растительное молоко	200	45	90	Биологически активные вещества, микроэлементы, витамины в зависимости от сырья (соя, пшеница, овёс и др.)
Лекарственные и пряные травы	10	20	2	Биологически активные вещества, микроэлементы, витамины в зависимости от типа травы
Хлорелла	20	1	0	Витамины группы B, а также витамины K, E, C, холин, ниацин, бета-каротин, фолиевая кислота, флавоноиды, гликопротеины, кальций, сера, йод, клетчатка, кремний, хром
Итого	Общая масса*	Средняя калорийность	Общая калорийность	Все необходимые для жизни макро- и микронутриенты
	2725 г	113 ккал/100 г	2433,1 ккал	

*Приводится масса продуктов в сыром виде, при этом 420 г из данного рациона – напитки. Общая масса пищи после приготовления и без учёта напитков будет составлять 1,3–1,5 кг.

Заключение

Таким образом, приведённый выше теоретически разработанный для жителей ЭКД универсальный пищевой комплекс соответствует общим критериям здорового питания и требованиям к оптимальному рациону в замкнутой экосистеме. Подобное меню предотвращает развитие метаболического синдрома, целиакии и подходит людям с непереносимостью лактозы, обеспечивая при этом широкое вкусовое разнообразие пищи и полный набор макро- и микронутриентов. Биопроизводство данных продуктов в условиях ЭКД требует минимальных ресурсов, а все отходы при помощи макро- и микроорганизмов могут быть преобразованы в гумус, применяемый для выращивания культурных растений.

В дальнейшем планируется провести более детальную теоретическую проработку комплексного меню, проанализировать варианты конкретных блюд и осуществить практическую апробацию рациона питания в земных условиях.

Литература

1. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.: ил.*
2. *Здоровое питание: план действий по разработке региональных программ в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/108434/E73401R.pdf. – Дата доступа: 06.06.2021.*
3. *Creating Healthy Food and Eating Environments: Policy and Environmental Approaches / M. Story [et al.] // Annual Review of Public Health. – 2008. – Vol. 29, No. 1. – P. 253–272.*
4. *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. / Астроинженерные технологии, Струнные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – С. 376–387.*
5. *Geographic Particulars of the World's Population Food Ration / I. Kholoshyn [et al.] // E3S Web of Conferences (ICSF 2020). – 2020. – Vol. 166, No. 1. – P. 1–8.*
6. *Тырсин, Ю.А. Микро- и макроэлементы в питании / Ю.А. Тырсин, А.А. Кролевец, А.С. Чижик. – М.: ДеЛи плюс, 2012. – 224 с.*
7. *Здоровое питание: основные факты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet. – Дата доступа: 06.06.2021.*
8. *Liu, G.Y. mTOR at the Nexus of Nutrition, Growth, Ageing and Disease / G.Y. Liu, D.M. Sabatini // Nature Reviews Molecular Cell Biology. – 2020. – Vol. 21, No. 4. – P. 183–203.*
9. *Differences in Food Susceptibility Between High and Low Intuitive Eaters / N.B. Keirns [et al.] // Current Developments in Nutrition. – 2020. – Vol. 4, No. 2. – P. 1648.*
10. *Ford, E.S. Prevalence of Metabolic Syndrome Among US Adults: Findings from the Third National Health and Nutrition Examination Survey / E.S. Ford, W.H. Giles, W.H. Dietz // JAMA: The Journal of the American Medical Association. – 2002. – Vol. 287, No. 3. – P. 356–359.*
11. *Калашникова, М.Ф. Метаболический синдром: современный взгляд на концепцию, методы профилактики и лечения / М.Ф. Калашникова // Эффективная фармакотерапия. Эндокринология. – 2013. – Т. 6, № 55. – С. 52–63.*
12. *Impact of Omega-3 Fatty Acids on the Gut Microbiota. Department of Ecological and Biological Sciences / L. Costantini [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. – 2017. – Vol. 18, No. 12. – P. 1–18.*
13. *Разработка высокоэффективных и безопасных фармацевтических субстанций на основе индивидуальных природных соединений для коррекции нарушений жирового и углеводного обменов / С.В. Оковитый [и др.] // Метаболический синдром: эксперимент, клиника, терапия: сб. науч. ст. III междунар. симпозиума, Гродно, 20–22 сент. 2017 г. / НАН Беларуси; отв. ред. Л.И. Надольник. – Гродно: ЮрСаПринт, 2017. – С. 165–171.*
14. *Panda, V.S. A Herbal Premix Containing Macrotyloma uniflorum, Ginger, and Whey Curtails Obesity in Rats Fed a High-Fat Diet by a Novel Mechanism / V.S. Panda, T. Shah // Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism. – 2020. – Vol. 45, No. 1. – P. 24–34.*
15. *Гиполипидемическое фитосредство: пат. RU 2553309 / В.Ю. Андреева, В.В. Иванов, О.А. Кайдаш. – Опубл. 10.06.2015.*
16. *Антидиабетический сбор «Детский»: пат. RU 2131740 / В.А. Блинов. – Опубл. 20.06.1999.*
17. *Kretchmer, N. Lactose and Lactase – A Historical Perspective / N. Kretchmer // Gastroenterology. – 1971. – Vol. 61, No. 6. – P. 805–813.*
18. *Sethi, S. Plant-Based Milk Alternatives an Emerging Segment of Functional Beverages: A Review / S. Sethi, S.K. Tyagi, R.K. Anura // Journal of Food Science and Technology. – 2016. – Vol. 53, No. 9. – P. 3408–3423.*
19. *Егорова, Е.Ю. «Немолочное молоко»: обзор сырья и технологий / Е.Ю. Егорова // Ползуновский вестник. – 2018. – № 3. – С. 25–34.*
20. *The Relation Between Celiac Disease, Nonceliac Gluten Sensitivity and Irritable Bowel Syndrome / M. El-Salhy [et al.] // Nutrition Journal. – 2015. – Vol. 14, No. 1. – P. 1–8.*
21. *Целиакия / В.Е. Ягур [и др.] // Медицинский журнал. – 2016. – № 3. – С. 48–56.*
22. *Application of Response Surface Methodology in the Development of Gluten-Free Bread Arendt / D.F. McCarthy [et al.] // Cereal Chemistry. – 2005. – Vol. 82, No. 5. – P. 609–615.*
23. *Курбанова, К.Х. Изучение хлебопекарных свойств рисовой муки и гречишной как сырья для безглютеновых пищевых продуктов / К.Х. Курбанова, О.Б. Иванченко // Неделя науки СПбПУ: материалы науч. конф. с междунар. участием / Высш. шк. биотехнологии и пищевых технологий, С.-Петерб. политехн. ун-т Петра Великого, Санкт-Петербург, 19–24 нояб. 2018 г. – СПб: Политех-Пресс, 2018. – С. 26–29.*
24. *Добровольский, В.Ф. Использование современных технологий для разработки и обеспечения питанием космонавтов / В.Ф. Добровольский // Индустрия питания. – 2016. – № 1. – С. 33–36.*
25. *Березина, Т.Н. Влияние стрессогенных факторов на продолжительность жизни лётчиков-космонавтов / Т.Н. Березина, Э.И. Мансуров // Вопросы психологии. – 2015. – № 3. – С. 73–83.*
26. *Nebylov, A. Stability of Closed Space Biosystems for Algea Ecology / A. Nebylov, V. Perliouk, A. Knyazhsky // RAST: Proceedings of the 9th Inter. Conf. on Recent Advances in Space Technologies, Istanbul, 11–14 June 2019. – IEEE, 2019. – P. 941–947.*
27. *Подшивалова, А.К. Физико-химическое моделирование влияния химического состава почв на химическую активность азота и кислорода / А.К. Подшивалова // Вестник ИРГСХА. – 2020. – № 96. – С. 49–57.*
28. *Automatic Monitoring and Control System in Aeroponic Plant Agriculture / I.F. Rahmad [et al.] // CITSM: Proceedings of the 8th Inter. Conf. on Cyber and IT Service Management, Pangkal, 23–24 Oct. 2020. – IEEE, 2020. – P. 298–302.*
29. *Overview of the Aeroponic Agriculture – An Emerging Technology for Global Food Security / I.A. Lakhiar [et al.] // International Journal of Agricultural and Biological Engineering. – 2020. – Vol. 13, No. 1. – P. 1–10.*
30. *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. / Астроинженерные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 51–57.*
31. *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. / Астроинженерные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 153–157.*
32. *Reducing Food Insecurity in Developing Countries Through Meat Production: The Potential of the Guinea Pig (Cavia porcellus) / P.J. Lammers [et al.] // Renewable Agriculture and Food Systems. – 2009. – Vol. 24, No. 3. – P. 155–162.*
33. *Эссенциальные элементы и их нормирование в питьевой воде / О.О. Синицына [и др.] // Анализ риска здоровью. – 2020. – № 3. – С. 30–38.*
34. *Способ получения искусственно минерализованной воды: пат. RU 2140274 / О.А. Рысьев, В.Н. Чечевичкин, О.В. Кайдалова. – Опубл. 27.10.1999.*
35. *Особенности распространения и идентификации растений рода Солерос (Salicornia) – уникального источника пищевой соли / Е.В. Голубкина [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2020. – № 3. – С. 11–15.*
36. *Титова, Ю.А. Мультибиоконверсия отходов техногенной сферы съедобными грибами / Ю.А. Титова // Вестник защиты растений. – 2016. – Т. 3, № 89. – С. 166–168.*
37. *Research on CV. Rena Soap Nut Detergent as Future Organic Detergent in Indonesia / S. Fatimah [et al.] // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. – 2020. – Vol. 448. – P. 1–5.*

УДК 635.8

Лекарственные и съедобные грибы в условиях замкнутой экосистемы: культивирование, свойства, применение

Юницкий А.Э.[1,2]
Костеневич А.А.[2]

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

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

Рассмотрены полезные свойства лекарственных и съедобных грибов на примере рейши (*Ganoderma lucidum*), шиитаке (*Lentinus edodes*), вешенки (*Pleurotus ostreatus*) и ежовика гребенчатого (*Hericium erinaceus*); проведена оценка их влияния на организм человека в условиях замкнутой экосистемы. Предложены способы экстенсивного и интенсивного культивирования грибов, в том числе с использованием в качестве субстрата опавшей листвы, древесины и других органических материалов. Обосновано применение грибов (как источника питательных веществ и иммуномодуляторов) в рационе жителей ЭкоКосмоДома (ЭКД). Предложена схема эксперимента по выращиванию грибов в условиях ЭКД.

Ключевые слова:
грибы, рейши, шиитаке, вешенка, ежовик, экстенсивное культивирование, интенсивное культивирование, лекарственные грибы, съедобные грибы.

Введение

Грибы – самостоятельное царство живых организмов. К высшим базидиомицетам относят грибы с макроскопическими телами, насчитывающие около 10 000 видов. Высшие съедобные базидиомицеты – представители различных экологических групп, преимущественно микоризообразователей, сапротрофов, лигнотрофов, копротрофов.

Значительная часть грибов, традиционно употребляемых в пищу, принадлежит к высшим базидиомицетам. Съедобность является категорией, охватывающей понятия вкусовой, физиологической и эстетической приемлемости. Данное свойство вида отражает генетически закреплённые особенности химического состава и морфологии плодовых тел.

Ассортимент употребляемых в пищу грибов в различных регионах зависит от имеющегося выбора, традиций и вкусов людей [1].

Мир съедобных грибов включает 200–500 видов, однако широко используются в пищевых целях не более 20–50 [2]; в коммерческих масштабах – около 10 [3].

Почти у всех съедобных базидиомицетов обнаружены редкие или необычные аминокислоты [2]. Установлено, что именно их наличие обуславливает специфический вкус грибов [1, 4], а запах формируется другими соединениями [5].

Помимо аминокислот съедобные грибы содержат полисахариды, которые обладают антимикробными, противораковыми и другими свойствами [6] (таблица 1). В состав базидиомицетов также входят пищевые волокна, отличающиеся антиоксидантным эффектом [7].

Таблица 1 – Лечебные свойства грибов

Гриб	Действие, оказываемое на организм						Ссылки
	Противовирусное	Антимикробное	Антиоксидантное	Противоопухолевое	Иммуномодулирующее	Когнитивные функции, ЦНС	
Рейши (*Ganoderma lucidum*)	+	+	+	+	+	+	[8–19]
Шиитаке (*Lentinus edodes*)	+	+	+	+	+	+	[20–30]
Ежовик гребенчатый (*Hericium erinaceus*)	+	+	+	+	+	+	[31–48]
Вешенка (*Pleurotus ostreatus*)	+	+	+	+	+	+	[22, 49–61]

Грибы – богатый источник усвояемого белка (таблица 2), а также необходимых жиров и углеводов (таблица 3) [62].

Таблица 2 – Биологическая ценность белка в различных пищевых продуктах

Продукт	Биологическая ценность белка, усл. ед.
Молоко	100
Рыба	85
Грибы	82
Мясо	80
Бобовые	50–55
Злаковые	40–45

Таблица 3 – Содержание питательных компонентов в грибах (расчёт на сухое вещество)

Компонент	Содержание, %
Белок	12–35
Углеводы	4–6
Жиры	0,4–0,6
Волокна	1
Зола	11

Минералов, таких как кальций, фосфор, железо, в вешенке в два раза больше, чем в свинине и говядине. Высокое содержание калия и низкое содержание натрия (K : N = 100 : 1) благоприятно для гипертоников.

Для веганов грибы – единственный поставщик кальция. Находящийся в грибах селен выступает в качестве антиоксиданта и помогает бороться с вирусными инфекциями.

Углеводов в грибах – всего 4–6 %. Данные биологические тела практически не перевариваются в желудочно-кишечном тракте человека, соответственно, не происходит их разложение до глюкозы и не изменяется гликемический уровень в крови. Это обстоятельство делает грибы незаменимыми в рационе людей, болеющих сахарным диабетом.

Грибы содержат все водорастворимые витамины, включая С и витамины группы В. Например, витамина B_3 в вешенках в 5–10 раз больше по сравнению с овощами [2, 62].

Всё вышеперечисленное позволяет считать грибы диетическим и деликатесным продуктом, который получают в промышленных масштабах.

Целью данной статьи является анализ научных источников, представляющих свойства, способы культивирования, характеристики, варианты применения лекарственных и съедобных грибов (рейши, шиитаке, ежовика, вешенки), а также методы разработки экстенсивных и интенсивных технологий их выращивания.

Мировое производство грибов

Мировой рынок грибов условно делят на три сектора: съедобные, медицинские и дикие (собранные в природе). Суммарно данная отрасль в 2013 г. оценивалась в 63 млрд USD. Производство съедобных и лекарственных грибов – в 34 и 24 млрд USD соответственно.

В 1978–2013 гг. объём выращивания грибов увеличился более чем в 30 раз – с 1 млн тонн до 34 млн тонн (рисунок 1). Стоит отметить, что основной поставщик – Китай – занимает 87 % грибного рынка.

В наибольшем количестве промышленно культивируют виды рода лентинус (22 % рынка) и вешенка (19 %). При этом намного меньше получают такие лекарственные грибы, как ежовик и рейши [63].

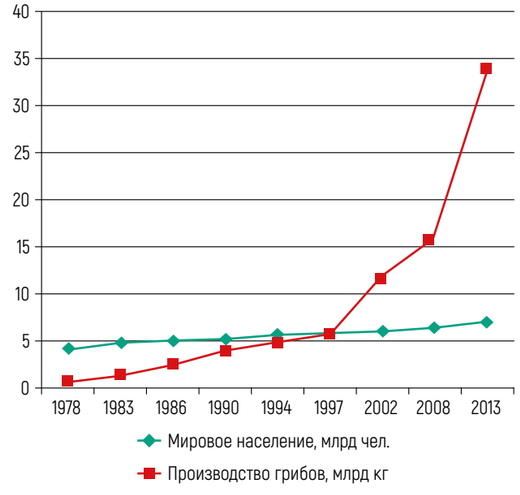


Рисунок 1 – Мировой рынок производства съедобных грибов [63]

Краткая история грибов и их распространение

Шиитаке (*Lentinus edodes*), или сиитаке, чёрный гриб, лентинус съедобный, – одна из древнейших грибных культур. Упоминания о ней находят в старинных рукописях, возраст которых исчисляется тысячелетиями. До сих пор данный гриб почитают в Японии и Китае как эликсир жизни. Знаменитый целитель Ву Шу (XIV–XVII вв.) в медицинском трактате писал, что шиитаке придаёт людям бодрость и снабжает энергией, является профилактическим средством против инсульта [64].

В естественных условиях гриб широко распространён в Восточной и Юго-Восточной Азии. Единичные экземпляры встречаются на Дальнем Востоке в России. Растёт он только на мёртвой древесине различных видов дуба и граба, каштана и бука, а также других лиственных деревьев указанных регионов (рисунок 2). В Беларуси гриб не отмечен.

Рисунок 2 – Рост шиитаке на различных субстратах

Рейши (*Ganoderma lucidum*), или линг жи, трутовик лакированный, «гриб бессмертия», считают лекарственным грибом на протяжении около 2000 лет [65, 66]. Встречается по всему миру в местах с умеренным и субтропическим климатом, включая Северную и Южную Америку, Европу и Азию [67]. Общий вид плодового тела представлен на рисунке 3.

Рисунок 3 – Плодовые тела рейши

Ежовик гребенчатый (*Hericium erinaceus*), или хоутоугу, ямабушитаке, «обезьянья голова», «львиная грива», растёт как на живой, так и на мёртвой древесине [68]. Ежовик (рисунок 4) помимо регионов Азии встречается и на территории Европы, однако из-за плохой всхожести занесён в Красную книгу 13 европейских стран [69].

Рисунок 4 – Плодовые тела ежовика [70]

Вешенка обыкновенная (*Pleurotus ostreatus*), или устричный гриб, распространена на территории Беларуси. Гриб экстенсивно выращивают уже несколько столетий [71].

Технологии культивирования грибов

Существуют две основные технологии получения грибов – экстенсивная (в условиях окружающей среды, в том числе на деревянных поленьях или чурбачках) и интенсивная (в специально оборудованных помещениях, где имеется возможность круглогодично культивировать грибы на определённых субстратах: соломе, опилках, компосте и др.).

Плантационное экстенсивное возделывание грибов, а именно выращивание на древесных чурбачках, – простая, надёжная и не требующая больших затрат технология. По данным литературных источников, наиболее часто используют следующие способы заражения инокулятом гриба: грунтовой, дисковый и межторцевой.

Грунтовой способ. Весной или в начале лета на участке выкапывают отдельные лунки глубиной 15–25 см по диаметру каждого чурбачка. Расстояние между лунками должно быть не менее 20 см от их края, чтобы дать возможность расти грибам. Дно лунки орошают или посыпают влажными опилками. Последние утрамбовывают. Затем по дну лунки рассыпают грибницу, на которую ставят чурбачок торцевой частью (рисунок 5).

Чурбачок прикапывают, несколько уплотняя почву вокруг него. В первое время (особенно при сухой и жаркой погоде) почву вокруг полена раз в неделю поливают водой. При инокуляции чурбачков грунтовым способом грибница вешенки проникает в почву, где образуется земляной мицелий, который активно развивается и получает дополнительно питательные вещества. Данный метод обуславливает обильное прорастание субстрата мицелием и повышение урожайности грибов.

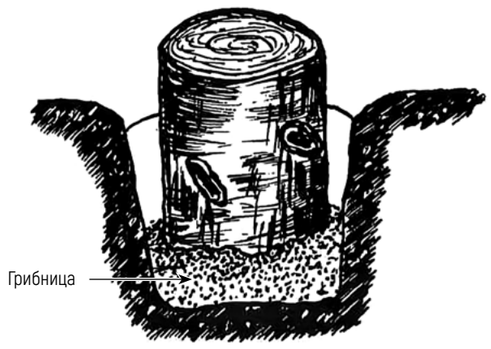


Рисунок 5 – Грунтовое заражение чурбачков грибницей [71]

Дисковый способ. С каждого чурбачка отпиливают диск толщиной 3–4 см. На верхнюю торцевую поверхность чурбачка помещают слой грибницы толщиной 1–2 см; затем отпиленный диск, чтобы он не двигался, прибивают гвоздями (рисунок 6). Кроме того, в нижней части чурбачка можно просверлить 4–6 отверстий диаметром 1–2 см и глубиной до 10 см, которые заполняют грибницей. Далее заражённые чурбачки высаживают в подготовленные лунки на постоянное место, как и при грунтовом способе заражения.

Для защиты мицелия от ветра поверх деревянной колоды можно надеть полиэтиленовый пакет и подвязать его тесёмкой.

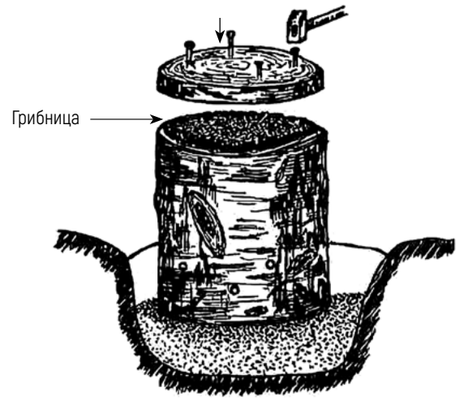


Рисунок 6 – Дисковое заражение чурбачков грибницей [71]

Межторцевой способ. Выкапывают траншею глубиной не менее 1 м (такая глубина необходима для сохранения в углублении особого микроклимата). На дно небольшим слоем рассыпают влажные опилки, поверх укладывают немного грибницы. Затем друг на друга, в несколько ярусов, вертикально ставят чурбачки (рисунок 7), формируя своеобразные колонны высотой 1,5–2 м.

Желательно, чтобы деревянные колоды были примерно одного диаметра. Под каждый чурбачок и между их торцами по всей длине выстилают грибницу слоем 1–2 см. Для того чтобы мицелий не подсыхал, сверху чурбачки закрывают чистой сухой соломой.

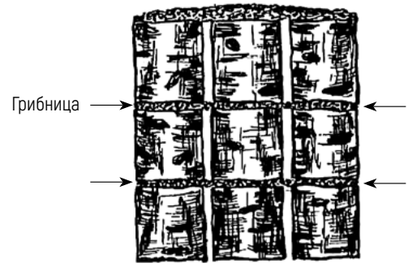


Рисунок 7 – Межторцевое заражение чурбачков грибницей [71]

Чурбачки устанавливают на постоянное место в грунт на глубину 1/2 их длины; промежутки в ряду и между рядами – 20–30 см (рисунок 8).

Рисунок 8 – Общий вид грибной плантации

Посаженные чурбачки не рекомендуется передвигать. В первый год с одного чурбачка собирают от 50 г до 600 г грибов, иногда до 1 кг. Однако может случиться, что в первый сезон они не появятся, так как грибница ещё не успела созреть для образования плодовых тел или рано начались заморозки. На следующий год (при благоприятных погодных условиях) на каждом чурбачке, который оставляли зимовать на том же месте, вырастает до 2–3 кг грибов. Самый высокий урожай приносят второй и третий периоды плодоношения. Общий объём вешенки составляет 70–100 кг с 1 м^3 мягкой древесины [71].

Используя интенсивную технологию, в промышленных масштабах грибы разводят в строго контролируемой среде – в специальном помещении с поддержанием определённой температуры и влажности. Обычно грибы выращивают в мешках или банках, наполненных необходимым субстратом. Некоторые авторы утверждают [72], что разведение грибов в пакетах даёт больший выход биомассы и, соответственно, более экономически эффективно. Так, 5 кг сырья позволяют получить 1 кг грибов.

Чаще всего применяют отходы деревоперерабатывающей промышленности и сельского хозяйства: опилки, солому, растительную массу после отжима. В зависимости от вида культивируемого гриба иногда добавляют гипс, соевую муку и минеральные соли для достижения определённого значения активной кислотности [72, 73].

Состав питательной среды напрямую влияет на продуктивность гриба и выход биомассы [73]. Следовательно, для того чтобы разработать интенсивную технологию, компоненты питательной среды подбирают опытным путём, учитывая особенности местного сырья (таблица 4).

Таблица 4 – Влияние компонентов питательной среды на выход биомассы гриба [73]

Субстрат	Вид гриба	Урожайность, кг/10 кг влажного субстрата
Банановые листья	*Pleurotus quebeca*	1,2
Бобовая солома	*P. pulmonarius*	2,6
Бобовая солома	*P. cornucopiae*	2,25
Початки кукурузы	*P. hybridus*	2,7
Початки кукурузы	*P. citrinopileatus*	1,9
Хлопковая солома	*Collybia velutipes*	1,54
Шелуха льна	*P. hybridus*	2,42
Нутовая мука	*Stropharia rugosa annulata*	3,4
Компостированный конский навоз	*Agaricus bisporus*	2,8
Компостированный конский навоз	*Lapiota naucina*	1,45
Околоплодник масличной пальмы	*P. hybridus*	1,94
Скорлупа арахиса	*P. sajor-caju*	0,97
Рисовая солома	*P. citrinopileatus*	2,4
Опилки (обогащённые отрубями)	*C. velutipes*	2,62
	Lentinus edodes	1,91
Измельчённая бумага	*P. hybridus*	0,38
Солома сорго	*P. sajor-caju*	1,6
Жмых сахарного тростника	*P. hybridus*	2,3
Кора дерева	*P. sajor-caju*	0,97

Культивирование грибов в условиях замкнутой экосистемы

Твёрдые остатки растительной биомассы, а также отходы жизнедеятельности сельскохозяйственных животных могут быть использованы в качестве основы для экономически эффективного культивирования, что особенно актуально в замкнутой экосистеме (рисунок 9) [74, 75]; в подобных условиях успешно выращивали рейши [76].

Обогащение грибов биологически активными компонентами

Известно, что длительное пребывание людей в замкнутой системе приводит к психологическому дискомфорту. Чаще всего человек начинает проявлять агрессивное поведение или суицидальные наклонности. Такие расстройства снимают препаратами лития.

Для увеличения биодоступности лития или других элементов (Ca, K, Mg, Na) их можно добавить в питательную среду, на которой культивируется гриб [77].

Необходимыми химическими элементами удалось обогатить вешенку и рейши [78].

Таким образом в биомассе гриба появятся биологически активные компоненты, которые важны для обеспечения нормальной жизнедеятельности людей, живущих в ЭкоКосмоДомах (ЭКД). Например, достаточно съесть 100 г насыщенного литием ежовика, чтобы получить 69 % суточной дозы элемента [77]. Помимо этого, при дефиците мяса, т. е. в случае недостатка белка в рационе людей, грибы могут быть добавлены в фарш [4].

Материалы и методы

Первый этап при любом способе культивирования грибов – получение посевного материала. Для решения данной задачи авторами исследования приобретён в минимальном количестве мицелий грибов (рейши, шиитаке, ежовика и вешенки), чтобы затем его размножить в лабораторных условиях с целью имитации ситуации, при которой в ЭКД доставляется четыре 50-граммовых пакетика посевного материала (для экономии пространства и затрат на транспортировку).

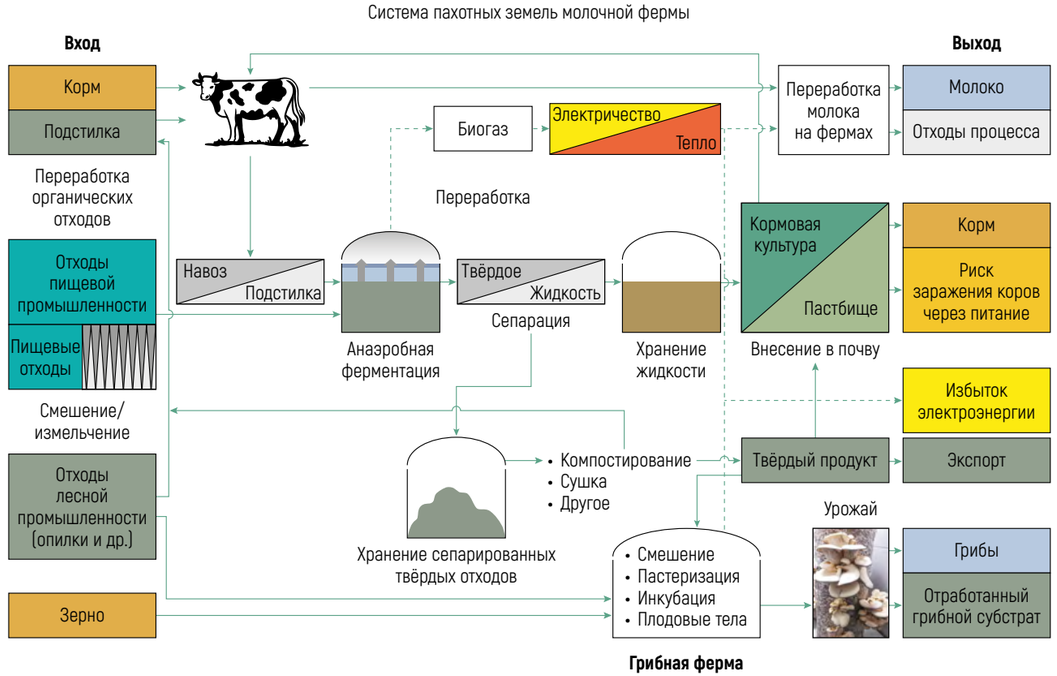


Рисунок 9 – Цикл безотходного получения сельскохозяйственной продукции, включая грибы [74]

Для подбора и оптимизации получения мицелия использовано несколько сред определённого состава (рисунок 10):

- опилки лиственных пород (берёзы) (94 %) + сахар (0,5 %) + гипс (0,5 %) + зерно пшеницы мягкой (5 %);
- опилки берёзы (50 %) + солома пшеницы мягкой (50 %);
- опилки берёзы (45 %) + солома пшеницы мягкой (45 %) + + бурый уголь марки ЗБПКО (10 %);
- зерно пшеницы мягкой пропаренное (100 %).

Рисунок 10 – Общий вид питательных сред для размножения посевного материала

Следующий этап культивирования грибов – инокуляция полученным мицелием древесины или мешков большого размера, содержащих питательную среду, для выращивания плодовых тел грибов (рисунок 11).

Рисунок 11 – Плодовые тела вешенки обыкновенной, выращенной авторами

В качестве питательных сред для получения грибов подобраны составы:

- солома пшеницы мягкой (100 %) (рисунок 12а);
- солома пшеницы мягкой (90 %) + бурый уголь марки ЗБПКО (10 %) (рисунок 12б);
- солома пшеницы мягкой (98 %) + микро- и макроэлементы (2 %) (рисунок 12в);
- зерно пшеницы мягкой пропаренное (100 %).

а) б) в)

Рисунок 12 – Обрастание мицелием вешенки обыкновенной промышленных сред различного состава:
а – солома пшеницы мягкой (100 %);
б – солома пшеницы мягкой (90 %) + бурый уголь марки ЗБПКО (10 %);
в – солома пшеницы мягкой (98 %) + микро- и макроэлементы (2 %)

Выбор сред выполнен на основе анализа литературы и с учётом экономических показателей, т. е. питательный состав должен быть максимально простым и дешёвым. Помимо этого, отработанные субстратные блоки в дальнейшем предлагается использовать в качестве добавки в корм животным, а также для биоремедиации почв.

С целью отработки условий экстенсивного культивирования лекарственных грибов разбита площадка в берёзовой роще Крестьянского (фермерского) хозяйства «Юницкого» (г. Марьина Горка, Республика Беларусь); на ней выставлены чурбачки различных древесных пород. Исходя из научных и научно-практических источников, авторами предложены следующие способы экстенсивного культивирования грибов на деревянных колодах:

- видоизменённый дисковый – чурбачок установлен диском вниз, а не вверх;
- двойной дисковый – диск срезан как сверху, так и снизу чурбачка;
- видоизменённый грунтовой – внизу вертикально стоящего чурбачка сделан поперечный пропил для увеличения поверхности соприкосновения с мицелием.

Все деревянные колоды расположены в шахматном порядке в общей траншее. Её дно посыпано слоем щепы (20 см), которая способствует разрастанию единого мицелия между чурбачками, заражёнными мицелием определённого вида гриба.

Выход посевного мицелия и плодовых тел предполагается определить весовым методом, после чего будет сделан вывод о наиболее оптимальной среде для культивирования.

Выводы и дальнейшие направления исследования

В настоящей статье рассмотрены полезные свойства лекарственных и съедобных грибов на примере рейши (*Ganoderma lucidum*), шиитаке (*Lentinus edodes*), вешенки (*Pleurotus ostreatus*) и ежовика гребенчатого (*Hericium erinaceus*); изучено их влияние на организм человека. Охарактеризованы экстенсивные и интенсивные технологии культивирования данных грибов; обоснована возможность обогащения их необходимыми для здоровья людей элементами; установлена целесообразность использования различных отходов в качестве питательных компонентов для получения грибов.

Проведены эксперименты по наращиванию посевного материала выбранных грибов (на определённом субстрате). Заложены опыты по подбору сред для культивирования грибов в промышленных масштабах, а также для оптимизации условий выращивания.

Далее авторы планируют осуществить исследования, результаты которых покажут, можно ли в ограниченных условиях ЭКД, используя отходы, получать достаточное количество грибов.

Литература

1. *Бухало, А.С. Высшие съедобные базидиомицеты в чистой культуре / А.С. Бухало; отв. ред. И.А. Дудка. – Киев: Наукова думка, 1988. – 144 с.*
2. *Kalač, P. A Review of Chemical Composition and Nutritional Value of Wild-Growing and Cultivated Mushrooms / P. Kalač // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2012. – Vol. 93, No. 2. – P. 209–218.*
3. *Быско, Н.А. Современные тенденции развития грибоводства в мире / Н.А. Быско // Агро Перспектива. – 2012. – Т. 2, № 26. – С. 18–19.*
4. *The Effects of Four Edible Mushrooms (Volvariella volvacea, Hypsizygus marmoreus, Pleurotus ostreatus and Agaricus bisporus) on Physicochemical Properties of Beef Paste / Z. Qing [et al.] // LWT – Food Science and Technology. – 2021. – Vol. 135. – P. 110–163.*
5. *Odor-Contributing Volatile Compounds of Wild Edible Nordic Mushrooms Analyzed with HS–SPME–GC–MS and HS–SPME–GC–O/FID / H. Aisala [et al.] // Food Chemistry. – 2019. – Vol. 283. – P. 566–578.*
6. *Bio-Funcional Components in Mushrooms, a Health Opportunity: Ergothionine and Huitlacohe as Recent Trends / G.A. Martinez Medina [et al.] // Journal of Functional Foods. – 2021. – Vol. 77. – P. 432–438.*
7. *Edible Mushrooms Dietary Fibre and Antioxidants: Effects on Glycaemic Load Manipulation and Their Correlations Pre-and Post-Simulated in Vitro Digestion / L. Wang [et al.] // Food Chemistry. – 2021. – Vol. 351. – 129320.*
8. *Lin, Z.-B. Anti-Tumor and Immunoregulatory Activities of Ganoderma lucidum and Its Possible Mechanisms / Z.-B. Lin, H.-N. Zhang // Acta Pharmacologica Sinica. – 2004. – Vol. 25, No. 11. – P. 1387–1395.*
9. *Quereshi, S. Evaluation of Antibacterial Activity of Different Ganoderma lucidum Extracts / S. Quereshi, A.K. Pandey, S.S. Sandhu // People's Journal of Scientific Research. – 2010. – Vol. 3, No. 1. – P. 9–13.*
10. *Extraction, Purification, Characterization and Antitumor Activity of Polysaccharides from Ganoderma lucidum / L. Zhao [et al.] // Carbohydrate Polymers. – 2010. – Vol. 80, No. 3. – P. 783–789.*
11. *Biological Activity of Ganoderma lucidum Basidiocarps Cultivated on Alternative and Commercial Substrate / J. Ćilerdžić [et al.] // Journal of Ethnopharmacology. – 2014. – Vol. 155, No. 1. – P. 312–319.*
12. *Huang, S.-Q. Extraction of Polysaccharide from Ganoderma lucidum and Its Immune Enhancement Activity / S.-Q. Huang, Z.-X. Ning // International Journal of Biological Macromolecules. – 2010. – Vol. 47, No. 3. – P. 336–341.*
13. *Shi, M. Antioxidant and Immunoregulatory Activity of Ganoderma lucidum Polysaccharide (GLP) / M. Shi, Z. Zhang, Y. Yang // Carbohydrate Polymers. – 2013. – Vol. 95, No. 1. – P. 200–206.*
14. *Biochemical Characterisation and Antioxidant Activity of Mycelium of Ganoderma lucidum from Central Italy / R. Saltarelli [et al.] // Food Chemistry. – 2009. – Vol. 116, No. 1. – P. 143–151.*
15. *Antioxidant Activity of Polysaccharide Extracted from Ganoderma lucidum Using Response Surface Methodology /*

Y. Kan [et al.] // International Journal of Biological Macromolecules. – 2019. – Vol. 72. – P. 151–157.

16. *Effects of Deproteinization Methods on Primary Structure and Antioxidant Activity of Ganoderma lucidum Polysaccharides / X. Zeng [et al.] // International Journal of Biological Macromolecules. – 2019. – Vol. 126. – P. 867–876.*
17. *Antiviral Activities of Various Water and Methanol Soluble Substances Isolated from Ganoderma lucidum / S.-K. Eo [et al.] // Journal of Ethnopharmacology. – 1999. – Vol. 68, No. 1–3. – P. 129–136.*
18. *Li, Y.-Q. Anti-Hepatitis B Activities of Ganoderic Acid from Ganoderma lucidum / Y.-Q. Li, S.-F. Wang // Biotechnology Letters. – 2006. – Vol. 28, No. 11. – P. 837–841.*
19. *Polysaccharides from Ganoderma lucidum Promote Cognitive Function and Neural Progenitor Proliferation in Mouse Model of Alzheimer's Disease / S. Huang [et al.] // Stem Cell Reports. – 2017. – Vol. 8, No. 1. – P. 84–94.*
20. *Testing a Low Molecular Mass Fraction of a Mushroom (Lentinus edodes) Extract Formulated as an Oral Rinse in a Cohort of Volunteers / C. Signoretto [et al.] // Journal of Biomedicine and Biotechnology. – 2011. – No. 3 – 857987.*
21. *In Vitro Assessment of Shiitake Mushroom (Lentinula edodes) Extract for Its Antigingivitis Activity / L. Ciric [et al.] // Journal of Biomedicine and Biotechnology. – 2011. – No. 1. – 507908.*
22. *An Examination of Antibacterial and Antifungal Properties of Constituents of Shiitake (Lentinula edodes) and Oyster (Pleurotus ostreatus) Mushrooms / R. Hearst [et al.] // Complementary Therapies in Clinical Practice. – 2009. – Vol. 15, No. 1. – P. 5–7.*
23. *Ishikawa, N.K. Antibacterial Activity of Lentinula edodes Grown in Liquid Medium / N.K. Ishikawa, M.C.M. Kasuya, M.C.D. Vanetti // Brazilian Journal of Microbiology. – 2001. – Vol. 32, No. 3. – P. 206–210.*
24. *Three Kinds of Antibacterial Substances from Lentinus edodes (Berk.) Sing. (Shiitake, an Edible Mushroom) / M. Hirasawa [et al.] // International Journal of Antimicrobial Agents. – 1999. – Vol. 11, No. 2. – P. 151–157.*
25. *Hatvani, N. Antibacterial Effect of the Culture Fluid of Lentinus edodes Mycelium Grown in Submerged Liquid Culture / N. Hatvani // International Journal of Antimicrobial Agents. – 2001. – Vol. 17, No. 1. – P. 71–74.*
26. *Polysaccharide and Extracts from Lentinula edodes: Structural Features and Antiviral Activity / V.P. Rincao [et al.] // Virology Journal. – 2012. – Vol. 9, No. 1. – P. 37–41.*
27. *Aqueous Extracts of Lentinula edodes and Pleurotus sajor-caju Exhibit High Antioxidant Capability and Promising in Vitro Antitumor Activity / T.C. Finimundy [et al.] // Nutrition Research. – 2013. – Vol. 33, No. 1. – P. 76–84.*
28. *In Vitro Antioxidant Activity and Hepatoprotective Effects of Lentinula edodes Against Paracetamol-Induced Hepatotoxicity / S. Sasidharan [et al.] // Molecules. – 2010. – Vol. 15, No. 6. – P. 4478–4489.*
29. *Testing the Effect of Combining Innovative Extraction Technologies on the Biological Activities of Obtained β-Glucan-Enriched Fractions from Lentinula edodes / D. Morales [et al.] // Journal of Functional Foods. – 2019. – Vol. 60. – P. 1–11.*
30. *In Vitro Cytostatic and Immunomodulatory Properties of the Medicinal Mushroom Lentinula edodes / C. Israilides [et al.] // Phytomedicine. – 2008. – Vol. 15, No. 6. – P. 512–519.*
31. *Anticancer Potential of Hericium erinaceus Extracts Against Human Gastrointestinal Cancers / G. Li [et al.] // Journal of Ethnopharmacology. – 2014. – Vol. 153, No. 2. – P. 521–530.*
32. *Takashi, M. Bioactive Substances in Hericium erinaceus (Bull.: Fr.) Pers. (Yamabushitake), and Its Medicinal Utilization / M. Takashi // International Journal of Medicinal Mushrooms. – 1999. – Vol. 1, No. 2. – P. 105–119.*
33. *Kawagishi, H. Compounds for Dementia from Hericium erinaceum / H. Kawagishi, C. Zhuang // Drugs of the Future. – 2008. – Vol. 33, No. 2. – P. 87–91.*
34. *Dietary Supplementation of Lion's Mane Medicinal Mushroom, Hericium erinaceus (Agaricomycetes), and Spatial Memory in Wild-Type Mice / P. Rossi [et al.] // International Journal of Medicinal Mushrooms. – 2018. – Vol. 20, No. 5. – P. 485–494.*
35. *Dietary Supplementation of Hericium erinaceus Increases Mossy Fiber-CA3 Hippocampal Neurotransmission and Recognition Memory in Wild-Type Mice / F. Brandalise [et al.] // Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine. – 2017. – 3864340.*
36. *A Novel Lectin with Antiproliferative and HIV-1 Reverse Transcriptase Inhibitory Activities from Dried Fruiting Bodies of the Monkey Head Mushroom Hericium erinaceum / Y. Li [et al.] // BioMed Research International. – 2010. – 716515.*
37. *Isolation and Identification of Aromatic Compounds in Lion's Mane Mushroom and Their Anticancer Activities / W. Li [et al.] // Food Chemistry. – 2015. – Vol. 170. – P. 336–342.*
38. *Hericium erinaceus Polysaccharide-Protein HEG-5 Inhibits SGC-7901 Cell Growth Via Cell Cycle Arrest and Apoptosis / X. Zan [et al.] // International Journal of Biological Macromolecules. – 2015. – Vol. 76. – P. 242–253.*
39. *Hericium erinaceus Improves Mood and Sleep Disorders in Patients Affected by Overweight or Obesity: Could Circulating Pro-BDNF and BDNF Be Potential Biomarkers / L.M. Vigna [et al.] // Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine. – 2019. – Vol. 21. – P. 1–12.*
40. *Hericium erinaceus Improves Recognition Memory and Induces Hippocampal and Cerebellar Neurogenesis in Frail Mice During Aging / D. Ratto [et al.] // Nutrients. – 2019. – Vol. 11, No. 4. – P. 715–719.*
41. *Wolters, N. Erinacine C: A Novel Approach to Produce the Secondary Metabolite by Submerged Cultivation of Hericium erinaceus / N. Wolters, G. Schembecker, J. Merz // Fungal Biology. – 2015. – Vol. 119, No. 12. – P. 1334–1344.*
42. *Han, Z.-H. Evaluation of in Vivo Antioxidant Activity of Hericium erinaceus Polysaccharides / Z.-H. Han, J.-M. Ye, G.-F. Wang // International Journal of Biological Macromolecules. – 2013. – Vol. 52. – P. 66–71.*
43. *Nerve Growth Factor-Inducing Activity of Hericium erinaceus in 1321N1 Human Astrocytoma Cells / K. Mori [et al.] // Biological & Pharmaceutical Bulletin. – 2008. – Vol. 31, No. 9. – P. 1727–1732.*
44. *Structures, Biological Activities, and Industrial Applications of the Polysaccharides from Hericium erinaceus (Lion's Mane) Mushroom: A Review / X. He [et al.] // International Journal of Biological Macromolecules. – 2017. – Vol. 97. – P. 228–237.*
45. *Anti-Helicobacter Pylori Activity of Bioactive Components Isolated from Hericium erinaceus / J.-H. Liu [et al.] // Journal of Ethnopharmacology. – 2016. – Vol. 183. – P. 54–58.*
46. *Spelman, K. Neurological Activity of Lion's Mane (Hericium erinaceus) / K. Spelman, E. Sutherland, A. Bagade // Journal of Restorative Medicine. – 2017. – Vol. 6, No. 1. – P. 19–26.*
47. *Recent Developments in Hericium erinaceus Polysaccharides: Extraction, Purification, Structural Characteristics and Biological Activities / X.-Y. Wang [et al.] // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2019. – Vol. 59. – P. 96–115.*
48. *Anti-Viral Activity of Culinary and Medicinal Mushroom Extracts Against Dengue Virus Serotype 2: An in-Vitro Study / K. Ellan [et al.] // BMC Complementary and Alternative Medicine. – 2019. – Vol. 19, No. 1. – P. 260–268.*
49. *Akata, I. Chemical Compositions and Antioxidant Activities of 16 Wild Edible Mushroom Species Grown in Anatolia / I. Akata, B. Ergonul, F. Kalyoncu // International Journal of Pharmacology. – 2012. – Vol. 8, No. 2. – P. 134–138.*
50. *Antimicrobial and Antineoplasic Activity of Pleurotus ostreatus / E.R.S. Ellan [et al.] // Applied Biochemistry and Biotechnology. – 2008. – Vol. 151, No. 2–3. – P. 402–412.*
51. *Structural Characterization and in Vitro Antitumor Activity of a Novel Polysaccharide Isolated from the Fruiting Bodies of Pleurotus ostreatus / H. Tong [et al.] // Bioresource Technology. – 2009. – Vol. 100, No. 4. – P. 1682–1686.*
52. *Jayakumar, T. Antioxidant Activity of the Oyster Mushroom, Pleurotus ostreatus, on CCl4-Induced Liver Injury in Rats / T. Jayakumar, E. Ramesh, P. Geraldine // Food and Chemical Toxicology. – 2006. – Vol. 44, No. 12. – P. 1989–1996.*
53. *Sun, Y. Purification, Structure and Immunobiological Activity of a Water-Soluble Polysaccharide from the Fruiting Body of Pleurotus ostreatus / Y. Sun, J. Liu // Bioresource Technology. – 2009. – Vol. 100, No. 2. – P. 983–986.*
54. *Effect of Processing on the Content and Biological Activity of Polysaccharides from Pleurotus ostreatus Mushroom / W. Radzki [et al.] // LWT – Food Science and Technology. – 2016. – Vol. 66. – P. 27–33.*
55. *Immune-Modulating Activities of Glucans Extracted from Pleurotus ostreatus and Pleurotus eryngii / V. Vetvicka [et al.] // Journal of Functional Foods. – 2019. – Vol. 54. – P. 81–91.*
56. *Deepalakshmi, K. Pleurotus ostreatus: An Oyster Mushroom with Nutritional and Medicinal Properties / K. Deepalakshmi, S. Mirunalini // Journal of Biochemical Technology. – 2014. – Vol. 100, No. 2. – P. 718–726.*
57. *Antiviral Activities of Boletus edulis, Pleurotus ostreatus and Lentinus edodes Extracts and Polysaccharide Fractions Against Herpes Simplex Virus Type 1 / S. Santoyo [et al.] // Journal of Food and Nutrition Research. – 2012. – Vol. 51, No. 4 – P. 225–235.*
58. *Waktola, G. Pharmacological Activities of Oyster Mushroom (Pleurotus ostreatus) / G. Waktola, T. Temesgen // Novel Research in Microbiology Journal. – 2020. – Vol. 4, No. 2. – P. 688–695.*
59. *Efficacy of Pleuran (β-Glucan from Pleurotus ostreatus) in the Management of Herpes Simplex Virus Type 1 Infection / I. Urbancikova [et al.] // Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine. – 2020. – 8562309.*

60. *Polysaccharides of Mushroom Pleurotus spp.: New Extraction Techniques, Biological Activities and Development of New Technologies / J.R. Barbosa [et al.] // Carbohydrate Polymers. – 2020. – Vol. 229. – 115550.*
61. *Polysaccharides from Pleurotus ostreatus Alleviate Cognitive Impairment in a Rat Model of Alzheimer's Disease / Y. Zhang [et al.] // International Journal of Biological Macromolecules. – 2016. – Vol. 92. – P. 935–941.*
62. *Thakur, M.P. Advances in Mushroom Production: Key to Food, Nutritional and Employment Security: A Review / M.P. Thakur // Indian Phytopathology. – 2020. – Vol. 73, No. 2. – P. 377–395.*
63. *Royse, D.J. Current Overview of Mushroom Production in the World. Edible and Medicinal Mushrooms / D.J. Royse, J. Baars, Q. Tan // Edible and Medicinal Mushrooms. – 2017. – P. 5–13.*
64. *Xu, X. Structure and Immuno-Stimulating Activities of a New Heteropolysaccharide from Lentinula edodes / X. Xu, H. Yan, X. Zhang // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2012. – Vol. 60, No. 46. – P. 11560–11566.*
65. *Reishi or Lingzhi (Ganoderma lucidum) / S.P. Wasser [et al.] // Encyclopedia of Dietary Supplements. – New York: Marcel Dekker, 2005. – P. 680–690.*
66. *McMeekin, D. The Perception of Ganoderma lucidum in Chinese and Western Culture / D. McMeekin // Mycologist. – 2005. – Vol. 18, No. 4. – P. 165–169.*
67. *Mushroom Reishi (Ganoderma lucidum), Shiitake (Lentinela edodes), Maitake (Grifola frondosa) // Nonvitamin and Nonmineral Nutritional Supplements. / S. Pinya [et al.]. – London: Academic Press, 2019. – P. 517–526.*
68. *Improving Effects of the Mushroom Yamabushitake (Hericium erinaceus) on Mild Cognitive Impairment: A Double-Blind Placebo-Controlled Clinical Trial / K. Mori [et al.] // Phytotherapy Research. – 2016. – Vol. 23, No. 3. – P. 367–372.*
69. *Array of Metabolites in Italian Hericium erinaceus Mycelium, Primordium, and Sporophore / F. Corana [et al.] // Molecules. – 2019. – Vol. 24, No. 19. – P. 3511–3515.*
70. *Hericium erinaceus, an Amazing Medicinal Mushroom / B. Thongbai [et al.] // Mycological Progress. – 2015. – Vol. 14, No. 91. – P. 1–23.*
71. *Фомина, В.И. Грибы на садовых и приусадебных участках / В.И. Фомина, В.В. Трухоновец. – Молодечно: Победа, 2002. – 81 с.*
72. *A Review on Valorization of Oyster Mushroom and Waste Generated in the Mushroom Cultivation Industry / W.A.W. Mahari [et al.] // Journal of Hazardous Materials. – 2020. – Vol. 400. – P. 123–156.*
73. *Renewable Lignocellulosic Wastes as the Growth Substrates for Mushroom Production: National Strategies / S. Rajarathnam [et al.] // Advances in Mushroom Biology and Production: Proceedings of the Indian Mushroom Conference, Solan, India, 10–12 Sept. 1997 / NRCM; eds.: R.D. Rai, B.L. Dhar, R.N. Verma. – Solan: NRCM, 1997. – P. 291–304.*
74. *Integrating Anaerobic Co-Digestion of Dairy Manure and Food Waste with Cultivation of Edible Mushrooms for Nutrient Recovery / B.J. O'Brien [et al.] // Bioresource Technology. – 2019. – Vol. 285. – 121312.*
75. *Zied, D.C. Edible and Medicinal Mushrooms: Technology and Applications / D.C. Zied, A. Pardo-Giménez. – Chichester: John Wiley & Sons, 2011. – 592 p.*
76. *Hiyama, R. Evaluation of Waste Mushroom Medium from Cultivation of Shiitake Mushroom (Lentinula edodes) as Feedstock of Enzymic Saccharification / R. Hiyama // Journal of Wood Science. – 2011. – Vol. 57. – P. 429–435.*
77. *Lithium Biofortification of Medicinal Mushrooms Agrocybe cylindracea and Hericium erinaceus / P. Rzymski [et al.] // Journal of Food Science and Technology. – 2020. – Vol. 54, No. 8. – P. 2387–2393.*
78. *Cultivation of Mushrooms for Production of Food Biofortified with Lithium / M. Mleczek [et al.] // European Food Research and Technology. – 2017. – Vol. 243, No. 6. – P. 1097–1104.*

УДК 633.8

Лекарственные растения для ЭкоКосмоДома: подбор, условия выращивания, область применения

Шахно Е.А.
Зыль Н.С.

ЗАО «Струнные технологии»,
г. Минск, Беларусь

Подобраны лекарственные растения для культивирования в ЭкоКосмоДоме (ЭКД), описаны конкретные области их применения в качестве источников биологически активных веществ. Рассмотрены способы получения лечебных препаратов из трав, проанализированы методы утилизации органических растительных остатков. Предложены рецепты комбинированных экстрактов из растений для профилактики и лечения ряда заболеваний.

Ключевые слова:
лекарственные травы, экстракция, настойка, замкнутая биосфера.

Введение

Считается, что природа может обеспечить всем необходимым для выздоровления. Всё больше людей становятся приверженцами естественного лечения с помощью растительных препаратов. Во многом это связано с тем, что массовый и бесконтрольный приём медикаментозных средств привёл к появлению значительного числа побочных эффектов, образованию резистентности у бактерий, возникновению различных аллергических реакций [1, 2]. С древних времён растения – источники лекарственного сырья [3].

В ЭкоКосмоДоме (ЭКД) [4], т. е. в замкнутой биосфере, где не предполагается поступление веществ извне, процесс производства синтетических медикаментов окажется достаточно трудоёмким, а в некоторых случаях – неосуществимым. Например, для производства аспирина (ацетилсалициловой кислоты) используют салициловую и уксусную кислоты [5], проводят реакцию этерификации. Очевидно, что для изготовления каждого лекарственного препарата невозможно наладить полный производственный процесс.

В соответствии с вышеизложенным цель данной работы заключается в рассмотрении использования в условиях ЭКД некоторых комбинаций из растительного сырья в качестве альтернативы/дополнения традиционным лечебным средствам. Кроме того, проведена оценка возможности выращивания трав, утилизации органических остатков в замкнутой биосфере для последующего включения в биологический цикл.

Составы и способы получения жидких лекарственных средств

Согласно данным Всемирной организации здравоохранения [6] нарушение функции сердечно-сосудистой системы относится к основным причинам смерти. Далее в подобном «рейтинге» следуют инфекции нижних дыхательных путей, кишечные инфекции.

Для жителей ЭКД предлагается разработать профилактические сердечные, лёгочные, желудочно-кишечные, обезболивающие наружные и обезболивающие внутренние составы, изготовленные из лекарственных растений. Важно отметить, что употребление травяных сборов противопоказано при наличии индивидуальной непереносимости компонентов. Все представленные рецепты основаны на научных данных об эффективности растений; указанные соотношения подобраны эмпирически. Оптимальная продолжительность употребления настоек – до двух недель. В ЭКД в целях экстракции лекарственного растительного сырья предпочтительно применять спирт, полученный из сахарной свёклы или картофеля.

Профилактика сердечно-сосудистых заболеваний

В комплексной терапии функциональных нарушений сердечно-сосудистой деятельности предлагается использовать экстракты боярышника, мяты, пустырника, валерианы. Представим наиболее перспективные составы.

• Жидкий экстракт из листьев, ягод и цветов боярышника [7] – одно из признанных лечебных средств (рисунок 1). Благодаря богатому содержанию флавоноидов боярышник обладает кардиотоническим эффектом. В условиях ЭКД экстракт боярышника можно получать путём настаивания [8] в водной среде при температуре 37 °C в течение двух часов. В качестве альтернативы выступает спиртовая настойка, которая готовится в соотношении 1:10 ягод кустарника и 70-процентного этилового спирта (настаивается сутки). Разовая доза лекарственного препарата – 20 капель для взрослых людей (0,5 мл).

Рисунок 1 – Боярышник, плоды

Рисунок 2 – Мята, общее сырьё

• Комбинация мяты, боярышника, пустырника, валерианы – 1 мл данного раствора состоит из 0,05 мл настойки мяты; 0,15 мл экстракта боярышника; 0,4 мл экстракта пустырника; 0,4 мл настойки валерианы. Методы получения настойки/экстракта сведены в таблице 1.

Мята (рисунок 2) – самый широко распространённый ингредиент травяных составов [9]. Содержит биологически активные компоненты: розмариновую кислоту, флавоноиды (эриоцитрин, лютеолин и гесперидин). Пустырник (рисунок 3) обладает кардиотоническим действием [10]; валериана – седативным [11].

Таблица 1 – Методы получения настойки/экстракта, применяемых при сердечно-сосудистых заболеваниях

Вид настойки/экстракта	Метод получения
Настойка мяты	Экстракция 70-процентным этиловым спиртом 1 : 10 в течение суток
Экстракт боярышника	Водная экстракция при температуре 37 °C в течение двух часов
Экстракт пустырника	Экстракция 70-процентным этиловым спиртом 1 : 5 в течение суток
Настойка валерианы	Экстракция 65-процентным этиловым спиртом 1 : 5 в течение суток

Рисунок 3 – Пустырник, общее сырьё

Профилактика лёгочных заболеваний

• Подорожник ланцетолистный (рисунок 4) известен отхаркивающим свойством; облегчает сухой кашель и способствует отхождению мокроты [12]. Сок подорожника ланцетолистного готовится из свежесобранного сырья. Оптимальная доза – три столовые ложки в день.

Рисунок 4 – Подорожник ланцетолистный, общее сырьё

• Состав травяного лечебного чая приведён в таблице 2. Способ приготовления: растительный сбор залить 0,5 л горячей воды, настоять два часа. Принимать по 1/2 стакана три раза в день.

Таблица 2 – Компоненты для приготовления лекарственного чая, применяемого при заболеваниях дыхательной системы (расчёт на 0,5 л воды)

Вид сырья	Масса, г
Алтей, корень (рисунок 5а)	8
Ромашка аптечная, цветы (рисунок 5б)	8
Мать-и-мачеха, общее сырьё (рисунок 5в)	8

а)

б)

в)

Рисунок 5 – Компоненты лекарственного чая:
а – алтей, корни; б – ромашка, цветы; в – мать-и-мачеха, общее сырьё

Алтей лекарственный – традиционный травяной компонент лечебных средств, которые применяются при заболеваниях верхних дыхательных путей, сопровождающихся сухим кашлем [13]. Алтей в комбинации с другим растительным сырьём усиливает полезный эффект от травяного чая. В состав цветков ромашки входят флавоноиды, кверцетин, апигенин, патулетин, лютеолин, терпеноиды [14]. Цветки мать-и-мачехи обладают противовоспалительной и антиоксидантной активностью за счёт того, что содержат сесквитерпены, фенолы, флавоноиды, алкалоиды [15].

Профилактика желудочно-кишечных заболеваний

Для данной цели предлагается использовать два вида растительных лекарственных средств, основные компоненты которых обладают доказанной эффективностью при лечении желудочно-кишечных заболеваний.

• Травяную смесь (состав приведён в таблице 3) залить кипятком, настоять в течение 12 часов. Принимать по одной чайной ложке четыре раза в день за 30 мин до еды.

Таблица 3 – Компоненты для приготовления настоя, применяемого при желудочно-кишечных расстройствах (расчёт на 1 л воды)

Вид сырья	Масса, г
Подорожник ланцетолистный, листья	40
Зверобой, общее сырьё [16]	40
Золототысячник, общее сырьё [17]	20
Сушеница болотная, общее сырьё [18]	40
Аир, корень [19]	10
Перечная мята, общее сырьё	10
Спорыш, общее сырьё [20]	20
Тысячелистник, цветы [21]	15
Тмин, семена [22]	6

В зверобое (рисунок 6а) много полезных веществ (мирцен, цинеол, растительные алкалоиды, сапонины, аскорбиновая кислота, витамины группы В), благодаря которым он обладает целебными свойствами. Золототысячник (рисунок 6б) содержит алкалоиды, горькие гликозиды, флавоноиды, тритерпеноиды, фитостерины и эфирные масла. Лечебные компоненты сушеницы болотной (рисунок 6в) – флавоноиды, хлорогеновая и кофейная кислоты, витамин С, тиамин, дубильные вещества, алкалоиды, эфирные масла. Корневища аира (рисунок 6г) имеют в своём составе горькие гликозиды, аскорбиновую кислоту, дубильные вещества, борнеол, эвгенол. Спорыш (рисунок 6д) – источник флавоноидов, витаминов С и К, кумаринов, дубильных веществ. Цветки тысячелистника (рисунок 6е) отличаются большим количеством витамина К, метилбетаина, эфирных масел, сесквитерпеновых лактонов, цинеолов, борнеолов, камфоры. Семена тмина (рисунок 6ж) – кладезь жирных кислот, эфирных масел, витамина В, минералов.

а)

г)

б)

д)

в)

е)

ж)

Рисунок 6 – Сырьё: а – зверобой, общее сырьё; б – золототысячник, общее сырьё; в – сушеница болотная, общее сырьё; г – аир, корень; д – спорыш, общее сырьё; е – тысячелистник, цветы; ж – тмин, семена

• Листья лапчатки гусиной (рисунок 7) [23] содержат витамин С, дубильные вещества, флавоноиды, эфирные масла. Жидкие лекарственные формы данного растения характеризуются кровоостанавливающим, вяжущим, спазмолитическим действиями. Способ приготовления настоя: 20 г сырья залить 1 л кипятка. Норма приёма – один стакан три раза в день.

Рисунок 7 – Лапчатка гусиная, общее сырьё

Обезболивающие наружные составы

• Ягоды можжевельника (рисунок 8) отличаются богатым составом эфирных масел, витаминов, микроэлементов, монотерпенов; обладают антисептическими и антибактериальными свойствами. Способ приготовления настойки: 10 ягод можжевельника залить 70-процентным этиловым спиртом (1 л), настоять в течение суток [24].

• Мята перечная может выступать в качестве лекарственного сырья для приготовления вяжущего средства, снимающего воспаления кожи. Способ приготовления настойки: 50 г мяты залить 70-процентным этиловым спиртом (1 л), настоять в течение двух дней.

Рисунок 8 – Можжевельник, ягоды

Обезболивающие внутренние составы

• Зверобой продырявленный (рисунок 6а) содержит нафтодиантроны, ксантоны, флавоноиды, флороглюцинолы [25], применяется для лечения заболеваний пищеварительного тракта и нарушений обмена веществ, а также для изготовления безрецептурных растительных антидепрессантов. Способ приготовления настоя: 10 г высушенной и измельчённой травы заварить 1,5 стакана кипятка. Принимать внутрь по 1/3 стакана один раз в день.

• Полынь (рисунок 9) известна большой концентрацией эфирных масел (туйон, туйол, фелландрен), а также дубильных веществ, абсинтина, флавоноидов; считается отличным стимулятором аппетита. Способ приготовления настоя: 2 г измельчённой травы залить 0,5 л кипятка [26].

Рисунок 9 – Полынь, общее сырьё

Экспериментальные образцы

Для каждого предложенного состава планируется изготовить опытные образцы из сырья, а затем методом экстракции получить жидкие лекарственные средства. В период написания данной статьи экспериментальный материал проходит тестирование (оцениваются вкусовые свойства, качественные показатели); затем при необходимости будет доработан (рисунки 10, 11).

Рисунок 10 – Образцы исследуемых комбинированных составов

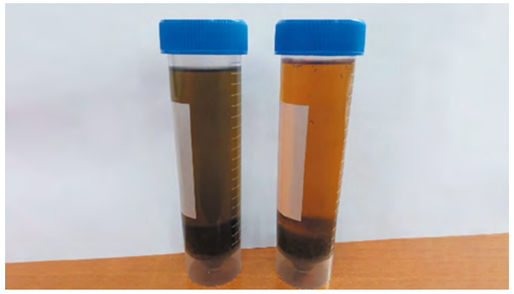


Рисунок 11 – Экстракты: слева – спиртовой; справа – водный

Требования к площади и окружающей среде при выращивании растений в ЭКД

В таблице 4 приведены размеры площадей, необходимых для выращивания культур, сырьё которых будет использовано при приготовлении вышеуказанных жидких лекарственных средств. При расчёте учитывалась справочная урожайность по каждому растению [27]. Кроме того, принимался во внимание следующий важный факт: сбор урожая происходит раз в год (с дальнейшей усушкой травяного материала). Затруднительно предусмотреть точную годовую потребность в данных лечебных препаратах, так как в течение года может потребоваться разное их количество в зависимости от заболеваемости людей. Значит, в ЭКД целесообразно иметь запас собранных и высушенных трав/плодов для оперативного реагирования на возникновение различных болезней. Следует учесть, что срок хранения водных настоев – не более семи дней (при температуре 0–4 °С); спиртовых настоек – до трёх месяцев.

Таблица 4 – Размер площади, предназначенной для выращивания лекарственных растений (расчёт на 100 человек)

Вид растения	Описание	Площадь, м²*
Боярышник	Листопадное многоствольное дерево	110
Мята	Многолетнее травянистое растение	10
Пустырник	Многолетнее растение, куст	20
Валериана	Многолетнее травянистое растение	10
Подорожник ланцетолистный	Многолетнее травянистое растение	5
Алтей	Многолетнее травянистое растение	10
Ромашка	Однолетнее травянистое растение	8
Мать-и-мачеха	Многолетнее травянистое растение	5
Золототысячник	Многолетнее травянистое растение	5
Сушеница	Однолетнее травянистое растение	5
Аир	Многолетнее травянистое растение	10
Спорыш	Однолетнее травянистое растение	5
Тысячелистник	Многолетнее травянистое растение	10
Тмин	Однолетнее травянистое растение	10
Можжевельник	Многолетнее хвойное растение	12
Зверобой	Многолетнее травянистое растение	30
Полынь	Многолетнее травянистое растение	10

* Площадь указана с учётом высадки в один ярус.

Общая площадь, необходимая для культивирования лекарственных растений на 100 человек, – 275 м^2. Однако в ЭКД при использовании многоярусной высадки и проведении соответствующей оптимизации пространства можно вырастить те же культуры на площади 100 м^2 и менее. Заложенная в проект высота ярусов, зависящая в том числе от типа насаждений, достаточна для того, чтобы сбор лечебной растительной продукции можно было осуществлять как при помощи автоматизированных систем, так и вручную. Общее требование к высоте ярусов: расстояние от верхней части растений до источника света составляет не менее 15–20 см. Исходя из полезных свойств лекарственных трав, считаем оправданным для их выращивания выделить в природной зоне ЭКД 100 м^2 (1 м^2 на каждого жителя). Оптимальные условия для произрастания выбранных культур в замкнутой системе: температура 21–25 °С, влажность 55–60 %, качественное локальное освещение интенсивностью 100 000 лк [28].

Утилизация органических остатков лекарственных трав

Основной способ утилизации органических остатков лекарственных трав (листьев, корней (сухих, сгнивших), веток) – деструкция микро- и макроорганизмами с последующим переводом всех полезных веществ в гумус (основу плодородия почвы) и дальнейшим возвратом в цикл. Таким образом растительные отходы будут переводиться в нерастворимые соли гуминовых кислот (гумус), а затем посредством анаэробных микроорганизмов – в растворимую форму, которую можно направить растениям в качестве питания [28]. Некоторые органические остатки допустимо использовать для выращивания целлюлозоразрушающих грибов.

Выводы и дальнейшие направления исследования

Авторами предложен ряд полезных для человека трав с целью культивирования их в ЭКД; рассчитаны необходимые посевные площади. Кроме того, показаны рецептуры жидких лекарственных форм (сердечные, лёгочные, желудочно-кишечные, обезболивающие наружные и обезболивающие внутренние составы).

На момент написания статьи продолжаются эксперименты, направленные на совершенствование содержания данных лечебных препаратов (добавление новых компонентов или исключение не несущих функциональной нагрузки).

Запланировано расширить список лечебных средств на спиртовой и водной основах с учётом вышеприведённого перечня лекарственных растений: предусмотрена разработка пяти новых составов. В процессе исследований в обязательном порядке будет принято в расчёт взаимное влияние ингредиентов, в том числе их пропорции и вкусовые качества.

Литература

1. *International Consensus on Drug Allergy / P. Demoly [et al.] // Allergy. – 2014. – Vol. 69, No. 4. – P. 420–437.*
2. *Davies, J. Origins and Evolution of Antibiotic Resistance / J. Davies, D. Davies // Microbiology and Molecular Biology Reviews: MMBR. – 2010. – Vol. 74, No. 3. – P. 417–433.*
3. *Sharma, V. Bioinformatics Opportunities for Identification and Study of Medicinal Plants / V. Sharma, I.N. Sarkar // Briefings in Bioinformatics. – 2013. – Vol. 14, No. 2. – P. 238–250.*
4. *Плахов, Д.А. Анатолий Юницкий: будущее – за общепланетарным транспортным средством / Д.А. Плахов, Н.В. Время // Воздушно-космическая сфера. – 2020. – № 4. – С. 28–41.*
5. *Aspirin™ – Suprisingly Versatile [Electronic resource] // Bayer-Global. – Mode of access: https://www.bayer.com/en/products/aspirin. – Date of access: 06.06.2021.*
6. *10 ведущих причин смерти в мире [Электронный ресурс] // Всемирная организация здравоохранения. – Режим доступа: https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death. – Дата доступа: 06.06.2021.*
7. *Khan, M.G. Encyclopedia of Heart Diseases / M.G. Khan. – Amsterdam [etc.]: Elsevier, Academic Press, 2006. – 675 p.*
8. *Валеева, А.Р. Оптимизация условий экстракции биологически активных соединений с антиоксидантными свойствами из плодов боярышника (Crataegus) / А.Р. Валеева, Н.В. Макарова, Д.Ф. Валиулина // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2019. – Т. 9, № 2. – С. 239–249.*
9. *McKay, D.L. A Review of the Bioactivity and Potential Health Benefits of Peppermint Tea (Mentha piperita L.) / D.L. McKay, J.B. Blumberg // Phytotherapy Research. – 2006. – Vol. 20, No. 8. – P. 619–633.*
10. *Leonurus cardiaca L. as a Source of Bioactive Compounds / R.C. Fierascu [et al.] // EPARs. – 2019. – No. 2. – P. 1–13.*
11. *Essential Oil Composition, Phenolics, and Antioxidant Activities of Valeriana jatamansi at Different Phenological Stages / A.K. Jugran [et al.] // Plant Biosystems. – 2021. – Vol. 155, No. 4. – P. 891–898.*
12. *Assessment Report on Plantago lanceolata L., Folium [Electronic resource] // European Medicines Agency. – Mode of access: https://www.ema.europa.eu/en/documents/herbal-report/final-assessment-report-plantago-lanceolata-l-folium_en.pdf. – Date of access: 06.06.2021.*
13. *Mahboubi, M. Marsh Mallow (Althaea officinalis L.) and Its Potency in the Treatment of Cough / M. Mahboubi // Complementary Medicine Research. – 2020. – Vol. 27, No. 3. – P. 174–183.*
14. *McKay, D.L. A Review of the Bioactivity and Potential Health Benefits of Chamomile Tea (Matricaria recutita L.) / D.L. McKay, J.B. Blumberg // Phytotherapy Research. – 2006. – Vol. 20, No. 7. – P. 519–530.*
15. *A Review of the Ethnobotanical Value, Phytochemistry, Pharmacology, Toxicity, and Quality Control of Tussilago farfara L. (Coltsfoot) / S. Chen [et al.] // Journal of Ethnopharmacology. – 2021. – Vol. 267. – P. 619–633.*
16. *New Potential Pharmaceutical Applications of Hypericum Species / M. Marrelli [et al.] // Mini Reviews in Medicinal Chemistry. – 2016. – Vol. 16, No. 9. – P. 710–720.*
17. *Bioactivities of Centaurium erythraea (Gentianaceae) Decoctions: Antioxidant Activity, Enzyme Inhibition, and Docking Studies / L. Guedes [et al.] // Molecules. – 2019. – Vol. 24, No. 20. – 3795.*
18. *Medicinal Plants of the Russian Pharmacopoeia; Their History and Applications / A.N. Shikov [et al.] // Journal of Ethnopharmacology. – 2014. – Vol. 154, No. 3. – P. 481–536.*
19. *Acorus Calamus: a Bio-Reserve of Medicinal Values / A.D. Khwairakpam [et al.] // Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology. – 2018. – Vol. 29, No. 2. – P. 107–122.*
20. *Traditional Uses of Autochthonous Medicinal and Ritual Plants and Other Remedies for Health in Eastern and South-Eastern Serbia / J.S. Matejić [et al.] // Journal of Ethnopharmacology. – 2020. – Vol. 261. – 113186.*
21. *Ali, S. Pharmacognosy, Phytochemistry, and Pharmacological Properties of Achillea millefolium L.: A Review / S. Ali, B. Gopalakrishnan, V. Venkatesalu // Phytotherapy Research. – 2017. – Vol. 31, No. 8. – P. 1140–2261.*
22. *Mahboubi, M. Caraway as Important Medicinal Plants in Management of Diseases / M. Mahboubi // Natural Product and Bioprospecting. – 2019. – Vol. 9, No. 1. – P. 1–11.*
23. *Изучение компонентного состава полифенолов травы Pentaphylloides fruticosa L. / А.Ю. Малютина [и др.] // Фармация и фармакология. – 2018. – Т. 6, № 2. – С. 135–150.*
24. *Potential of Juniperus communis L. as a Nutraceutical in Human and Veterinary Medicine / R. Raina [et al.] // Heliyon. – 2019. – Vol. 5, No. 8. – e02376.*
25. *Hypericum Perforatum: Pharmacokinetic, Mechanism of Action, Tolerability, and Clinical Drug-Drug Interactions / E. Russo [et al.] // Phytotherapy Research. – 2014. – Vol. 28, No. 5. – P. 643–655.*
26. *Tobyn, G. Artemisia absinthium, Wormwood / G. Tobyn, A. Denham, M. Whitelegg // Medical Herbs. – Edinburg [etc.]: Elsevier, Churchill Livingstone, 2011. – P. 105–121.*
27. *Терёхин, А.А. Технология возделывания лекарственных растений // А.А. Терёхин, В.В. Вандышев. – М.: РУДН, 2008. – 201 с.: ил.*
28. *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. / Астроинженерные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 51–59.*

УДК 574.4

Адаптационные процессы внутри модели замкнутой экосистемы

Налётов И.В.
Заяц В.С.

ЗАО «Струнные технологии»,
г. Минск, Беларусь

Данная статья – продолжение проведённого авторами в 2020 г. исследования, касающегося создания модели замкнутой экосистемы. В настоящей работе описаны процессы саморегулирования замкнутой экосистемы, прослежены изменения внутри популяций водных и наземных животных и растений. Проанализированы адаптивные функции внутри и между всеми биологическими составляющими: подвергнуты научному рассмотрению циркуляция видов, вымирание и динамика их приспособления. Особенность исследования заключается в изучении сформированной модели экосистемы, состоящей из определённого набора организмов, а также в установлении имеющихся между ними связей.

Ключевые слова:
замкнутая экосистема, популяции, взаимодействие видов, закрытая среда.

Введение

Существует широко распространённое мнение о том, что природа всегда находится в состоянии равновесия. Согласно этой точке зрения численность видов колеблется до достижения стационарного, определённого количества, обусловленного энергетическими ограничениями их среды обитания. Конечно, климатические изменения и другие факторы могут сдвинуть наступление устойчивого состояния популяции, однако со временем оптимальный баланс на каждом участке всё равно будет достигнут [1, 2]. Аргументировано подтверждено, что биоразнообразие повышает стабильность процессов в трансформирующемся окружающем мире [3]. Существуют три основных механизма стабилизирующего воздействия биоразнообразия на свойства экосистемы:

1) внутренние реакции на колебания окружающей среды;

2) различия в скорости, с которой виды реагируют на возмущения;

3) снижение силы конкуренции.

Первые два аспекта предусматривают временное взаимодополнение между видами; третий является результатом функциональной комплементарности, когда ради общей выживаемости снижается конкуренция между видами. Дополнительные механизмы установления стабильности включают в себя эффекты отбора, изменения поведения (за счёт взаимодействия видов) и сотрудничество, которое возникает в результате трофических или нетрофических взаимоотношений и пространственной неоднородности [4, 5].

В 2020 г. авторами создана установка модели замкнутой экосистемы [6]. За семь месяцев существования в изоляции организмы адаптировались и начали выстраивать новые взаимоотношения. Все особи заняли свои экологические ниши. Популяционное стабильное и продуктивное состояние напрямую зависит от биотического круговорота в организованных ландшафтах модели изолированного пространства. Спланированные геоландшафты и гидросреды содержат определённый набор химических элементов, а также концентрацию биоорганического вещества [7].

Все элементы циркулируют в экосистеме между гео- и гидросредами. Подобное движение обеспечивает равномерное распределение соединений в модели, что приводит к состоянию равновесия и, как следствие, к сохранению численности популяций. В октябре 2020 г. осуществлена герметизация, а также изолирование прототипа экосистемы.

Основная цель настоящей статьи – проанализировать динамику роста и развития всех живых организмов, населяющих модель замкнутой экосистемы, изучить их влияние друг на друга. Кроме того, авторы считали важным исследовать взаимоотношения, сложившиеся между особями в водной и наземной среде, а также установить, какие виды заняли доминирующее положение, а какие оказались на грани вымирания. Предполагается, что данная работа позволит сделать вывод о возможности наступления состояния, при котором экосистема может функционировать бесконечно долго.

Полученные результаты планируется использовать при проектировании объекта «ЭкоКосмоДом на планете Земля» (ЭКД-Земля), в котором адаптация биологических составляющих будет проходить длительный промежуток времени, что позволит решить различные задачи и ответить на новые возникающие вопросы. Одним из вариантов приспособления к условиям окружающего мира могут служить созданные на Земле мини-экосистемы, например в капсулах общепланетарного транспортного средства (ОТС) [8].

В разделе «Динамика и естественный отбор растений в прототипе замкнутой экосистемы» описано состояние роста и развития растений в условиях изоляции. Далее представлены введённые в экосистему животные; показано, как им удалось прийти к стабильному состоянию герметизации. В заключительной части продемонстрированы результаты наблюдений за экосистемой, а также описаны дальнейшие направления исследования.

Динамика и естественный отбор растений в прототипе замкнутой экосистемы

Функционирование замкнутой экосистемы зависит от многих факторов, в том числе от условий водной и наземной окружающей среды, состава и количества населяющих её живых существ [9, 10].

В процессе роста и развития растений в наземной части прототипа экосистемы влажность воздуха начала изменяться. В октябре 2020 г. (при закрытии) влажность колебалась в пределах 70–85 % (зачастую подобный диапазон колебаний был связан с внешними показателями температуры).

Как только растения перешли в стадию устойчивого роста, влажность установилась на 80-процентной отметке и стала постоянной. Транспирация воздуха и воды из устьиц растений позволяет сохранить данный стабильный показатель. Излишки влаги не образуются в связи с полной открытостью поверхности воды [11, 12].

Температура в замкнутой среде зависит от показаний градусника за пределами стекла, а также от результата деятельности микроорганизмов, живущих в почве и воде [13]. Например, при работе фотосинтетического аппарата происходит нагревание поверхности листа, а его охлаждение выполняется за счёт испарения воды, тем самым повышается температура в прототипе замкнутой экосистемы.

Между всеми растениями в изолированном пространстве возникла борьба за существование. Каждый из организмов вступил в конкуренцию за ресурсы не только с представителями других видов, но и внутри своего вида. Подобный характер взаимоотношений отмечался по ускоренному развитию одних (более приспособленных) особей и угнетению других.

В замкнутую среду были внесены высшие покрытосеменные растения: спаржа лекарственная (*Asparagus officinalis* L.), ковыль кавказский (*Stipa caucasica* Schmalh.), овсяница сизая (*Festuca glauca* Lam.), фестулолиум (*Festuca* × × *Lolium*), нут бараний (*Cicer arietinum* L.), горох посевной (*Pisum sativum* L.), люцерна посевная (*Medicago sativa* L.); спорофиты: мох политрихум обыкновенный (*Polytrichum commune* Hedw.), папоротник адиантум (*Adiantum capillus-veneris* L.).

Популяции мхов быстрее всех адаптировались к изменившимся условиям: отмечено появление новых зелёных побегов. Высшие покрытосеменные растения также легко приспособились к внешнему миру, однако в отличие от мхов и папоротников они начали формировать репродуктивные органы (цветки) и успешно плодоносить.

Как известно, семена растений после созревания, попадая во влажный грунт, прорастают; таким образом поддерживается их постоянная популяция. Ограничения в пространстве суши прототипа замкнутой среды приводят к возникновению борьбы между растениями за ресурсы (минеральное питание, воду, солнечные лучи и т. д.) [14]. В этом процессе выигрывают в основном виды, способные к вегетативному размножению и формированию большого количества побегов с дополнительными корнями.

Ещё одним фактором стабилизации на изолированной территории является наличие патогенной микробиоты. В момент запуска замкнутой экосистемы был внесён плесневый гриб рода *Fusarium*. Данный фитопатогенный организм помогает избавляться от слабых растений, а также разрушает их опавшие листья.

Большинство наземных видов элиминировали из популяций, а в отдельных случаях полностью погибали. Так, из-за высокой влажности и недостатка устойчивости к патогену фузариоза погиб папоротник адиантум (*Adiantum capillus-veneris* L.), тем самым передав питательные элементы в почву для дальнейшего круговорота веществ.

Ковыль кавказский (*Stipa caucasica* Schmalh.), напротив, приобрёл устойчивость к патогену, вследствие чего наблюдалось активное развитие растения (рисунок 1).

Рисунок 1 – Разросшийся ковыль кавказский (*Stipa caucasica* Schmalh.)

Stipa caucasica Schmalh. способен образовывать дополнительные корни в узлах на побегах, осваивая новые площади питания. В месте образования корней также формируется вегетативная почка. Все они дают рост; таким образом ковыль кавказский колонизирует большие участки суши. Динамика развития данного организма показана на рисунке 2.

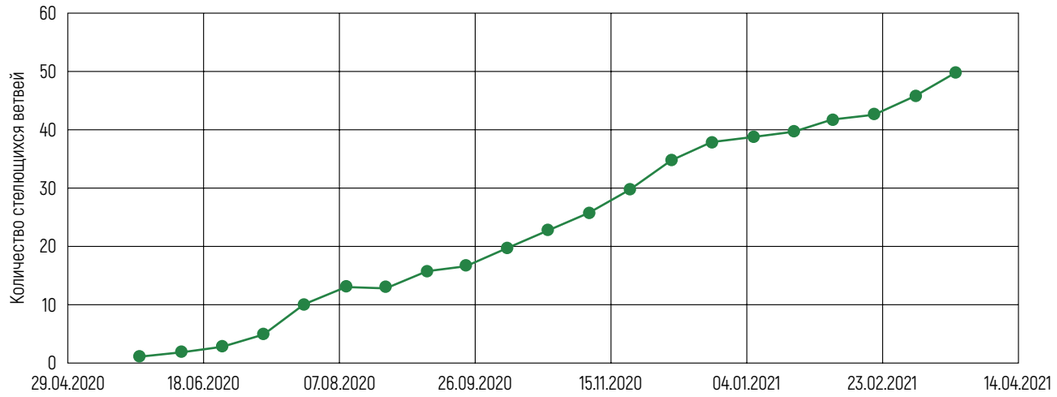


Рисунок 2 – Динамика развития *Stipa caucasica* Schmalh.

Благодаря развитой ксилеме и флоэме осуществляется равномерный транспорт питательных веществ из корневой системы, а также продуктов фотосинтеза из листьев. Об активном протекании процесса фотосинтеза свидетельствует наличие обильной зелёной массы растения.

Увеличение биомассы и стабильная адаптация зафиксированы и у гороха посевного (*Pisum sativum* L.). На рисунке 3 показана стадия его цветения на 5 января 2021 г.

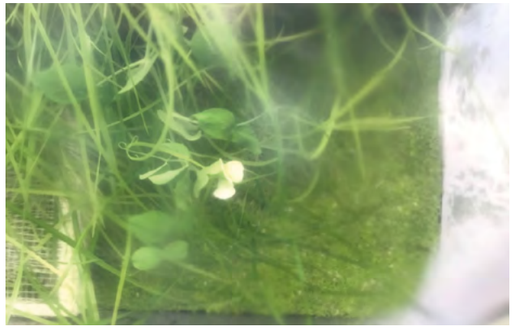


Рисунок 3 – Стадия цветения гороха посевного (*Pisum sativum* L.) в модели закрытой экосистемы

Стоит отметить достаточно быстрое приспосабливание водных растительных культур, однако дисбаланс макро- и микроэлементов привёл к массовому мору водных жителей и растений. Мох стринги (*Leptodictyum riparium*) и элеохарис живородящий (*Eleocharis vivipara*) в первый месяц демонстрировали активный рост, но на 22 марта 2021 г. они находились на стадии угнетения. Мох пламя (*Taxiphyllum sp.*) занял доминирующую позицию в водной экосистеме среди зелёных насаждений. Замедленное развитие показывали ломариопсис (*Lomariopsis lineata*), хемиантус Куба (*Hemianthus callitrichoides*), погостемон хелфери (*Pogostemon helferi*), анубиас афцели (*Anubias afzelii*), при этом полного угнетения не наблюдалось.

Кроме того, одним из важных элементов стабильности является наличие баланса кислорода и углекислого газа в воде. На протяжении семи месяцев с периодичностью в две недели происходило цикличное наращивание водорослей, а затем снижение их численности в воде. Такие колебания связаны с накоплением углекислого газа при дыхании водных организмов; как следствие, водоросли начинали активный фотосинтез, за счёт чего увеличивалась их биомасса.

Сразу после формирования экосистемы внешние условия окружающего пространства воздействовали на животных и растения, которые находились в замкнутой конструкции. Данный факт проявлялся в резком уменьшении их количества (например, креветок) и даже в исчезновении видов (засыхание папоротника адиантума). В дальнейшем живые биологические составляющие приобрели устойчивость к факторам локальной среды обитания и постепенно начинали оказывать влияние на неё. Подобная особенность в первую очередь связана с транспирацией растений. Таким образом, развитие растительных культур прототипа замкнутой системы на суше привело к различным изменениям концентрации влаги в воздухе, а также к накоплению кислорода в описываемой изолированной системе.

Почвенные микроорганизмы и плесневые грибы поедали слабые развивающиеся растения, преимущественно многолетние злаковые.

Особенности динамики развития животных

В исследовании 2020 г. удалось получить первичные данные о развитии животных [6]. Изучение продолжено и после закрытия сооружённой установки.

Список животных, изначально внесённых в экосистему: муравей чёрный (*Lasius niger*), мокрица (*Platyarthrus hoffmannseggii*), тля (*Aphidoidea spp.*), улитка катушка (*Planorbis sp.*), улитка хелена (*Anentome helena*), креветка (*Neocaridina*).

На рисунке 4 можно заметить муравья чёрного. При создании модели замкнутой среды были заселены две матки *Lasius niger*. Еженедельные наблюдения подтверждали наличие около 10 особей рабочих насекомых, что характеризует стабильное развитие популяции и создание колонии муравьёв с одной маткой.

Рисунок 4 – Муравей чёрный (*Lasius niger*) в модели замкнутой экосистемы

Количество тли (*Aphidoidea spp.*) уменьшилось с 30 до пяти организмов, что может быть связано с недостаточной питательной базой и избыточной влажностью. Однако на общей стабильности такое снижение не сказалось. Муравьи нашли новые источники питания.

Примечательно, что в экосистеме помимо внесённых животных обнаружились случайно попавшие, возможно, вместе с почвенным грунтом. На рисунке 5 стрелкой указана мокрица (*Platyarthrus hoffmannseggii*); особенность её жизнедеятельности – питание муравьиным помётом или плесенью. Зачастую данный вид ракообразных встречается рядом с гнёздами чёрного муравья (*Lasius niger*), который и был заселён в изолированное пространство. Таким образом, сформированные в экосистеме условия оказались подходящими для роста и благоприятного существования *Platyarthrus hoffmannseggii*.

Рисунок 5 – Мокрица (*Platyarthrus hoffmannseggii*) в модели замкнутой экосистемы

В водной среде проходило активное развитие всех животных: креветки, улитки катушки, циклопа, улитки хелены. На рисунке 6 показано изобилие улиток катушек (*Planorbis sp.*).

Рисунок 6 – Улитки катушки (*Planorbis sp.*) в модели замкнутой экосистемы

В течение всего периода наблюдения варьировалась численность улиток: от 23 до 64 особей в зависимости от условий окружающего пространства и наличия питания. График на рисунке 7 отражает динамику роста *Planorbis sp.*

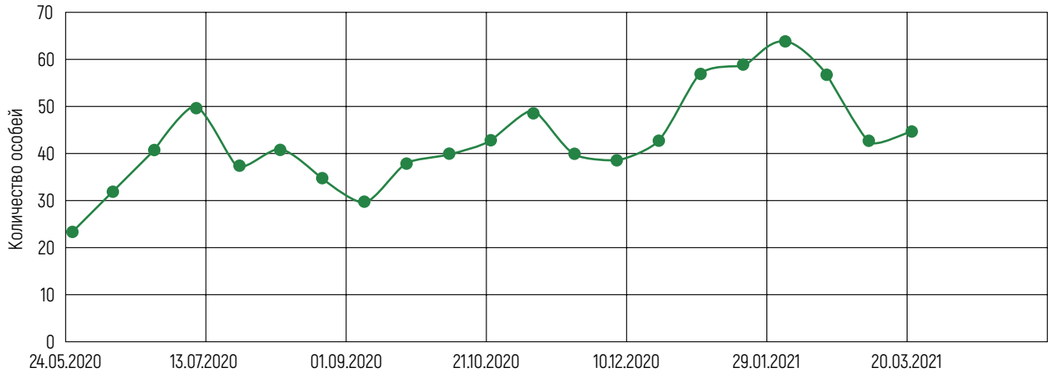


Рисунок 7 – Динамика численности особей улиток катушек (*Planorbis sp.*)

с 26 мая 2020 г. по 26 марта 2021 г. Количество улиток катушек контролировалось тремя улитками хеленами (*Anentome helena*) (данные на 26 марта 2021 г.).

Ещё одни представители животного водного царства – креветки *Neocaridina*. При изначальном заселении в экосистему их численность сократилась на 26 % [6]. Однако после прохождения процесса адаптации некоторые креветки дали потомство; на 26 марта 2021 г. насчитывалось 11 взрослых особей (прирост – 54,5 % с 10 июня 2020 г.). На рисунке 8 показана креветка, вынашивающая икру.

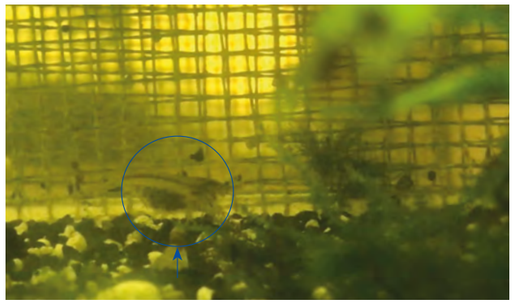


Рисунок 8 – Креветка *Neocaridina* с икринками

Выводы и дальнейшие направления исследования

На основании результатов, полученных в ходе исследования, можно утверждать, что экосистема по истечении девяти месяцев существования в условиях замкнутости находилась на стадии прихода к равновесию. Часть видов растений элиминировали из популяции: папоротник (*Adiantum capillus-veneris*), мох стринги (*Leptodictyum riparium*) и элеохарис живородящий (*Eleocharis vivipara*). Другая часть заняла доминирующую позицию: спаржа лекарственная (*Asparagus officinalis* L.), ковыль кавказский (*Stipa caucasica* Schmalh.), горох посевной (*Pisum sativum* L.).

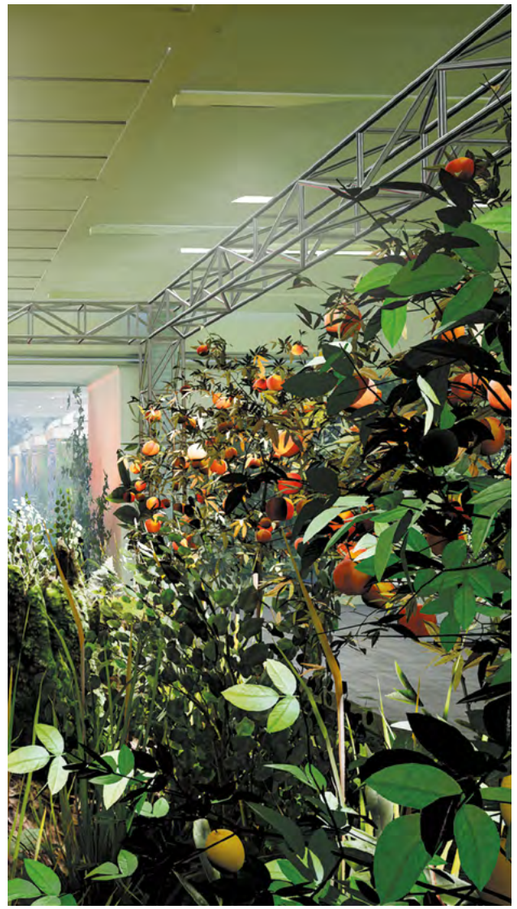
Сложнее всего адаптационный процесс прошёл у тли; их популяция сильно сократилась, вероятно, находится на грани исчезновения. Возможный вывод: выбранный организм не совсем подходит для сложившейся экосистемы. Длительное привыкание зафиксировано и у креветок, тем не менее они смогли сбалансировать своё состояние; на 26 марта 2021 г. отмечен их прирост.

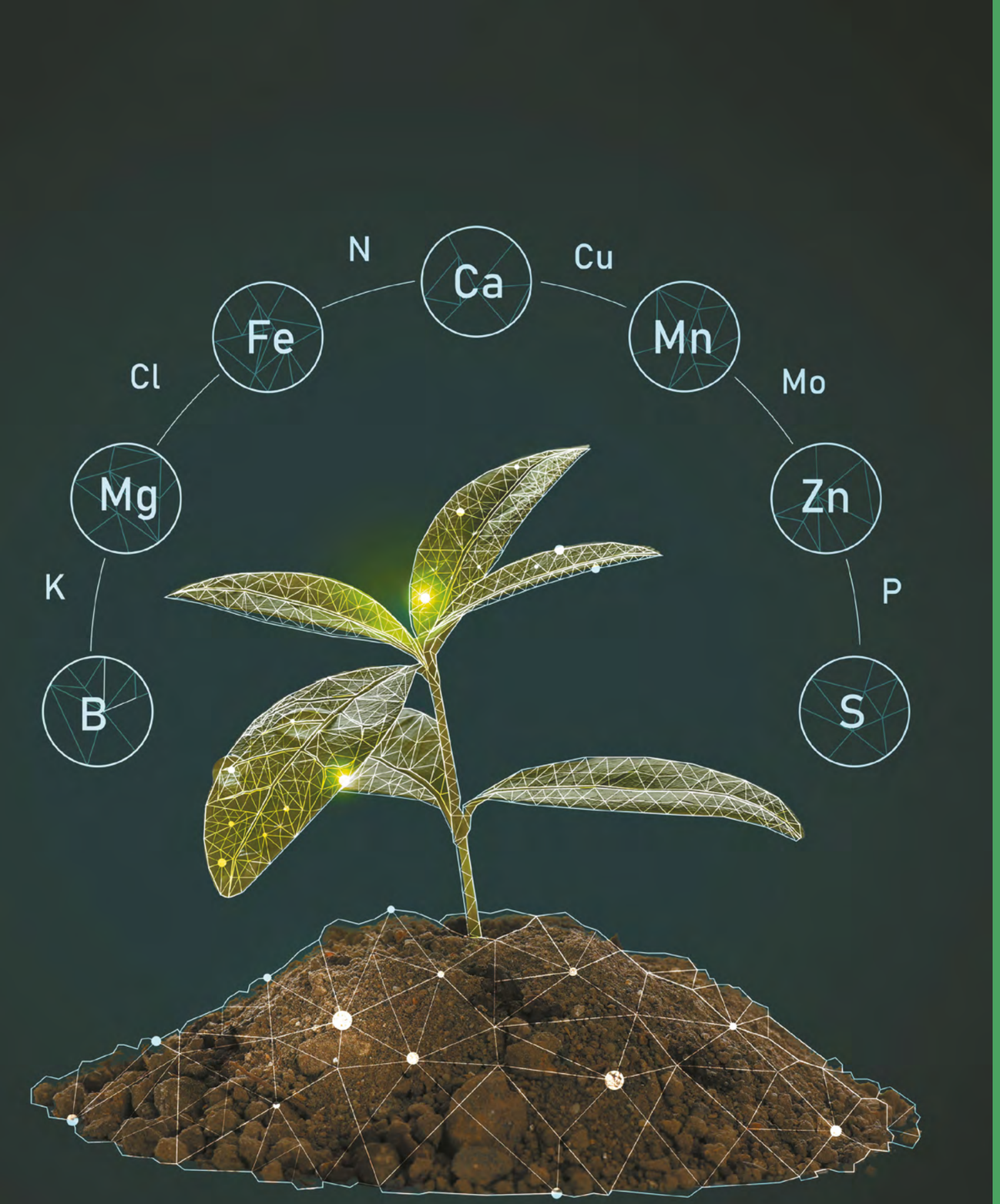
В данный период муравьи были ещё в ходе адаптации (их численность не соответствовала ожидаемой численности колонии муравьёв от двух маток). Очевидно, это связано с недостаточной питательной базой. В дальнейшем (с развитием растительности и при соответствующих изменениях в окружающей среде) пищи станет достаточно, в связи с чем предполагается увеличение количества *Lasius niger*.

Запланировано, что наблюдение за созданной моделью экосистемы будет вестись в течение трёх лет. Такой временной промежуток обусловлен следующей причиной: так как скорость изменения компонентов изолированного пространства снижается (по сравнению с той, которая была сразу после закрытия), то статистически значимые различия можно увидеть как минимум через три года существования замкнутости. Соответственно, будет проводиться анализ прироста популяций животных и растений, а также изучаться их взаимодействие с возникающим доминированием одного вида и возможной элиминацией из популяции другого.

Литература

1. *May, R.M. Stability and Complexity in Model Ecosystems / R.M. May. – New Jersey: Princeton University Press, 2019. – 304 p.*
2. *A Hierarchical Concept of Ecosystems / R.V. O'Neill [et al.] // The Quarterly Review of Biology. – New Jersey: Princeton University Press, 1986. – Vol. 64, No. 2. – P. 213–215.*
3. *Dickinson, G. Ecosystems / G. Dickinson, K. Murphy. – London: Routledge, 2007. – 224 p.*
4. *Loveless, M.D. Ecological Determinants of Genetic Structure in Plant Populations / M.D. Loveless, J.L. Hamrick // Annual Review of Ecology and Systematics. – 1984. – Vol. 15, No. 1. – P. 65–95.*
5. *Population and Ecological Genetics in Restoration Ecology / D.A. Falk [et al.] // Foundations of Restoration Ecology. – Washington, D.C.: Island Press, 2006. – P. 14–41.*
6. *Юницкий А.Э. Пути адаптации и установления саморегуляции замкнутой экосистемы / А.Э. Юницкий, И.В. Налётов, В.С. Заяц // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 12 сент. 2020 г. / Астроинженерные технологии, Струнные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – С. 388–401.*
7. *Ecological Consequences of Phenotypic Plasticity / B.G. Miner [et al.] // Trends in Ecology & Evolution. – 2005. – Vol. 20, No. 12. – P. 685–692.*
8. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.: ил.*
9. *Кочнева, М.Л. Мониторинг популяций сельскохозяйственных животных в разных экологических условиях: дис. … д-ра биол. наук 06.02.01 / М.Л. Кочнева. – Новосибирск: НГАУ, 2005. – 296 л.*
10. *Васильев, А.Г. Феногенетический мониторинг импактных популяций растений и животных в условиях антропогенного пресса / А.Г. Васильев, И.А. Васильева // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2009. – Т. 8, № 3 (58). – С. 5–12.*
11. *Уранов, А.А. Классификация и основные черты развития популяций многолетних растений / А.А. Уранов, О.В. Смирнова // Бюллетень МОИП. Отдел биологический. – 1969. – Т. 74, № 1. – С. 119–134.*
12. *Современное состояние проблемы водного баланса растений при дефиците воды / Г.Р. Кудоярова [и др.] // Физиология растений. – 2013. – Т. 60, № 2. – С. 155–165.*
13. *Дубова, Н.А. О биологическом аспекте групповой адаптации / Н.А. Дубова // Методы этноэкологической экспертизы. – М., 1999. – С. 30–40.*
14. *Reznick, D.N. The Struggle for Existence / D.N. Reznick // The Origin Then and Now: An Interpretive Guide to the Origin of Species. – New Jersey: Princeton University Press, 2011. – P. 66–76.*





УДК 579.64

Минимальная ассоциация организмов для плодородия почвы

Налётов И.В.
Заяц В.С.

ЗАО «Струнные технологии»,
г. Минск, Беларусь

Рассмотрена связь микроорганизмов почвы с растениями, культивируемыми на ней. Изучены виды грибов, бактерий и водорослей, улучшающих ростовые показатели зелёных насаждений. Подобрана минимальная ассоциация организмов, повышающая плодородие почвы. Проанализировано комплексное действие ассоциации, состоящей из червей, микроорганизмов, водорослей, на накопление органического и минерального вещества в земле, доступного для растений и других микроорганизмов, а также её влияние на рост и развитие кресс-салата (*Lepidium sativum*). Эксперимент проводился на грунте, содержащем минимальное количество макро- и микроэлементов. Данное исследование актуально в контексте проработки возможности освоения новых, обеднённых земель и особенно важно при создании закрытых экосистем (например, ЭкоКосмоДомов на планете Земля (ЭКД-Земля)).

Ключевые слова:
почва, ассоциация организмов, бактерии, водоросли.

Введение

Сельскохозяйственная деятельность – первое антропогенное воздействие человека на земельные ресурсы, с которого началось нарушение хода естественных процессов в почве и природе в целом. С развитием интенсивного сельского хозяйства, активно применяющего химические удобрения и средства защиты растений, а также генно-модифицированные семена, подобное негативное антропогенное вмешательство стало разрушительным [1]. Ни в одной сфере хозяйственной деятельности природные факторы не проявляются с такой силой в ходе формирования технологических процессов производства, как в сельском хозяйстве [2–4]. Многократное возделывание сельхозугодий ухудшает их плодородие. Различные виды и формы минеральных удобрений неодинаково влияют на свойства почвы [5, 6]. Внесённые удобрения вступают в сложные взаимосвязи с ней. Наблюдаются всевозможные трансформации, которые зависят от целого ряда аспектов: свойств удобрений и земли, погодных условий, агротехники. От того, как происходит изменение отдельных видов минеральных удобрений (фосфорных, калийных, азотных и др.), зависит их влияние на почвенное плодородие [7, 8]. Отрицательные последствия для окружающей среды, обусловленные нерациональным применением удобрений, связаны прежде всего с несовершенством их химического состава.

Конечно, минеральные вещества, вносимые в больших концентрациях, повышают урожайность. Однако они и загрязняют природу, а значит, таким образом наносят вред экосистеме почвы [3, 9]. Их использование вызывает интоксикацию у растений и животных. Высокие дозы азота в земле также приводят к гибели почвенных микроорганизмов и животных (круглых червей, кольчатых червей, членистоногих и др.) [2, 4, 10].

Микроорганизмы бóльшую часть органического вещества почвы разлагают на неорганические минералы, поглощаемые затем в качестве питательных веществ корнями растений. Данный процесс называется минерализацией. В зависимости от условий, в которых происходит разложение, часть органического вещества не минерализуется; вместо этого она включается в процесс, известный как гумификация. Органические полимеры устойчивы к действию микроорганизмов и представляют собой гумус. Подобная стабильность означает, что он интегрируется в постоянную структуру почвы, тем самым улучшая её.

Гумус формируется из органических и минеральных веществ. Он концентрирует в себе постепенно высвобождающиеся минеральные элементы [9], которые выделяются из его мелких частиц в результате жизнедеятельности микроорганизмов, протозоа; крупные частицы органического вещества (гранулы) образуются при помощи почвенных животных [2]. Следовательно, гумус – неотъемлемая часть питания растений, в свою очередь являющихся основными поставщиками органического вещества, поступающего в почву в виде органических остатков [2, 11].

Большинство микроорганизмов ведут симбиотические взаимодействия с растениями. Такие бактерии и микроскопические грибы называют ризосферными микроорганизмами [6, 12–14]. Данные ассоциации способны фиксировать азот в почве, а также переводить в доступную форму другие элементы: железо (хелатная форма), калий (в виде ионов), фосфор (фосфаты) [6, 13, 15].

Образование плодородного слоя – длительный процесс, занявший не одну тысячу лет. Соответственно, деградировавшая в результате интенсивного земледелия почва будет долго восстанавливаться в природе. Значит, при создании замкнутых экосистем возникнут трудности в формировании стабильной ассоциации организмов, необходимых для полноценного роста и развития растений без использования химических удобрений и пестицидов.

Установление минимальной ассоциации позволит в дальнейшем упростить задачи освоения обеднённых земель, что также найдёт применение при возведении ЭкоКосмоДома (ЭКД) – замкнутой экосистемы [16, 17].

Цель работы – установить взаимосвязь между внесёнными в почву организмами и улучшением ростовых и физиологических свойств кресс-салата (*Lepidium sativum*). При подборе биологического состава почвы сделан акцент на трофических связях между организмами, которые относятся к разному типу и даже разному царству.

Задачи исследования – на основании данных, полученных из научных источников, определить перечень организмов, способствующих улучшению почвы; экспериментально оценить влияние сформированной ассоциации на рост и развитие кресс-салата; сравнить процесс культивирования кресс-салата на песке, полноценной почве и грунте, улучшенном ассоциацией организмов.

Литературный обзор многообразия микроорганизмов

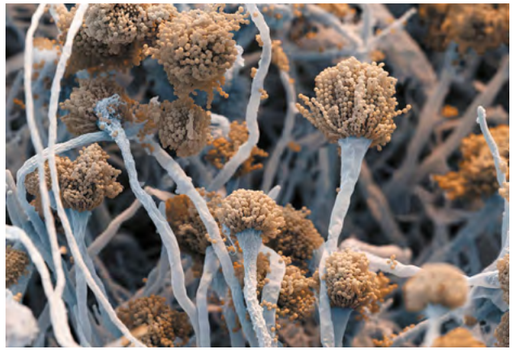
Типы микроорганизмов, обнаруженных в почве

В грамме плодородной почвы, в корнях растений и вокруг них (в ризосфере) живут до 10 млрд бактериальных клеток.

Как правило, в почве представлены организмы, принадлежащие к типу *Proteobacteria*, *Actinobacteria* и *Firmicutes* [18, 19]. Основное расположение бактерий – прикорневая зона. Здесь наблюдается наибольшая концентрация органических полимеров, образуемых в результате жизнедеятельности бактерий или корневых выделений, а также отмирания корней и ризоидов растений, что и является доминирующей причиной огромной численности бактерий в ризосфере.

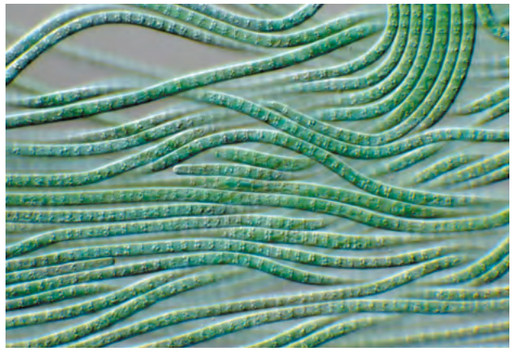
Ризосфера включает в себя множество различных симбиотических отношений. Ключевое непримиримое взаимодействие в прикорневой зоне происходит между ризобактериями и патогенными микроорганизмами. Этот тип связей наиболее важен в первую очередь для культур, выращиваемых в сельском и лесном хозяйстве [20, 21].

Установлено, что *Pseudomonas spp.* может устранить значительное количество патогенной для растений плесневой (грибной) ассоциации в почве. Известный факт: *Pseudomonas putida* подавляет почвенный грибной патоген *Verticillium dahliae* [20, 21, 9]. *Burkholderia* и виды *Pseudomonas* и *Serratia* могут продуцировать антибиотик пиррольнитрин.



Деструкторы грибов в ризосфере

В большинстве случаев бактерии участвуют в разложении простых растворимых субстратов, тогда как грибы считаются основными разрушителями твёрдых, непрочных субстратов. Кроме того, грибы, специализирующиеся на разложении наиболее распространённых полимерных веществ (целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнина), производят внеклеточные ферменты. Мономеры и олигомеры (например, сахара и дисахариды), которые высвобождаются внеклеточными гидролитическими ферментами, являются используемыми субстратами, поглощаемыми этими грибами.



Водоросли и цианобактерии в почве

Нитчатые цианобактерии – ключевые организмы, участвующие в биологическом образовании почвенной корки во всех биомах мира. Нитчатые зелёные водоросли могут играть особо важную роль в умеренных, арктических и высокогорных регионах, а также в определённых засушливых экосистемах саванны [9, 22, 23].

Разнообразен мир почвонаселяющих цианобактерий и эукариотических водорослей, однако только некоторые из них фактически ответственны за образование плодородного слоя. Основными цианобактериями являются *Microcoleus*, *Nostoc*, *Scytonema* и *Stigonema* [22, 23].

Минимальный микробиом почвы для улучшения и восстановления её плодородия

Учитывая научные данные и практическое применение почвенных микроорганизмов в органическом земледелии, нами подобрана наиболее приемлемая почвенная ассоциация для решения комплекса вопросов по улучшению плодородия почвы с помощью жизнедеятельности микроорганизмов [24, 25]. Оптимальная ассоциация составлена исходя из минимально необходимых задач, которые должны выполнять организмы почвы для стабильного роста и развития растений [26]: перевод в доступную форму азота, фосфора, калия; наработка органического вещества; поддержание требуемого гранулометрического состава земли [27, 28].

Для повышения урожайности верхний слой почвы следует обогатить органическими веществами, в частности посредством культивации и искусственного внесения органических веществ. Добавление почвенных водорослей приводит к тому, что, потребляя углекислый газ и воду, они накапливают органические вещества и фитогормоны в почве, а также создают питательную базу для других полезных организмов [29].

Насыщающие почву органические вещества (сахара, жиры, белки и др.) в первую очередь питают микроскопические грибы и бактерии, которые затем в процессе жизнедеятельности переводят органические соединения из одной формы в другую, более доступную следующей ассоциации [30]. Примером может служить фиксация азота. Данный элемент в почве аккумулируется двумя основными путями: при разложении белков; азотфиксацией из воздуха и дальнейшей нитрификацией. Кроме того, азот – компонент, способный вымываться из почвы с талой и дождевой водой [31]. Значит, нитрифицирующие бактерии преобразуют аммоний из азотфиксаторов в нитрит, который нитратные бактерии могут переводить в нитрат и поставлять его растениям равными дозами [32, 33].

В почве содержится большое количество фосфора и калия в связанном состоянии с минеральной частью почвы. Для высвобождения указанных элементов и перевода их в доступную для растений форму необходимо внести фосфат- и калиймобилизирующие виды бактерий – *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium var. phosphaticum*, *Azotobacter chroococcum*, *Enterobacter*, *Paenibacillus polymyxa* [34, 35].

Рост микроорганизмов повышает объём питательной базы органических веществ в том числе для других микроорганизмов. С растительными остатками в почву поступают и патогенные микроорганизмы. Для устранения подобной нагрузки в состав почвенной ассоциации входят микроорганизмы, выделяющие естественные антибиотики, позволяющие контролировать численность болезнетворных бактерий [36, 37].

Материалы и методы исследования

Кресс-салат выбран как один из универсальных модельных организмов, который оптимально подходит для проверки влияния состава субстратов при выращивании.

Для культивирования *Lepidium sativum* использовано три субстрата:

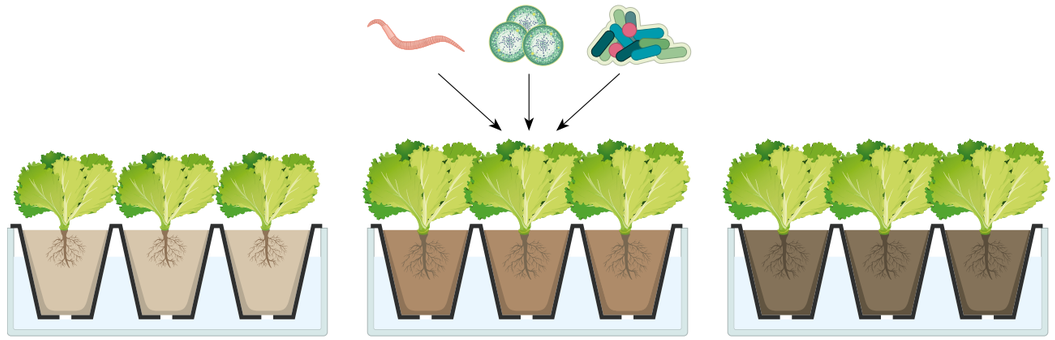
- кварцевый песок (SiO_2) без добавлений органики и минеральных солей (отрицательный контроль) (рисунок 1, образец № 1);
- обычная почва с добавлением комплекса подобранных организмов (в качестве грунта применяется простерилизованная почва из Крестьянского (фермерского) хозяйства «Юницкого») и содержанием гумуса порядка 2 %, $N_{40}P_{140}K_{380}$ (азота – 40 мг/л, фосфора – 140 мг/л, калия – 380 мг/л) (рисунок 1, образец № 2);
- грунт универсальный полноценный для растений (имеющийся в продаже в торговой сети) с содержанием $N_{150}P_{200}K_{450}$ (азота – 150 мг/л, фосфора – 200 мг/л, калия – 450 мг/л). Главным образом состоит из торфа с добавлением песка (рисунок 1, образец № 3).

В конце вегетационного периода (25–30 дней) проведена оценка по следующим показателям:

- численность микроорганизмов до и после культивирования на твёрдой питательной среде посредством метода КМАФАнМ (количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов);
- особенности вегетативного роста растений на каждой стадии развития (посев, всходы, выброс семядоли, фаза трёх настоящих листочков, ветвистость): площадь листьев, средний рост культуры, число листовых пластин;
- биомасса всего растения (при естественной влажности);
- сухая биомасса растения;
- интенсивность фотосинтеза.

Методика определения интенсивности фотосинтеза

Листья экспериментальных растений, предварительно разрезанные поперёк жилок, полностью помещают в дистиллированную воду (её температура должна быть не ниже 20 °C). Затем ёмкость с листьями ставят под интенсивный источник света и фиксируют частоту появления пузырьков газа (O_2) за одну минуту. Источник света передвигают на разное расстояние и производят замеры газовыделения. Выделение газа на поверхности листовой пластины свидетельствует о протекании процесса фотосинтеза в листьях, количество же газа говорит об интенсивности фотосинтеза [38]. Все образцы исследовались в идентичных условиях, в том числе при одинаковых параметрах температуры воды и интенсивности света.



№ 1 № 2 № 3

Рисунок 1 – Схема постановки эксперимента

Методика определения чистой продуктивности фотосинтеза растений

Растительные пробы отбирались с интервалом 10 дней в количестве 10 штук. Сначала растения взвешивались в сыром виде, затем отделялись листья и определялась их площадь. Далее все части высушивались до воздушной сухой массы и снова взвешивались. Расчёт проводился согласно формуле:

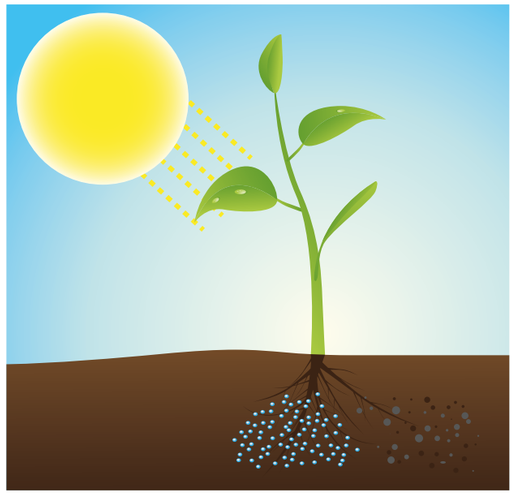
$$ЧПФ = \frac{B_2 - B_1}{0{,}5(Л_1 + Л_2)n},$$

где ЧПФ – чистый продуктивный фотосинтез, г/м^2 в сутки;

B_1, B_2 – первая и вторая пробы растительного материала, г;

$Л_1$, $Л_2$ – площадь листьев первой и второй проб, м^2;

n – продолжительность периода, сутки.



Результаты исследования

По результатам эксперимента удалось многосторонне оценить действие подобранной ассоциации организмов.

Посев кресс-салата произведён 1 марта 2021 г., дата сбора – 1 апреля 2021 г. (рисунок 2).

Первые всходы появились 9 марта 2021 г.: образец № 1 – 40 %; № 2 – 60 %; № 3 – 80 %. Итоговый процент всходов: № 1 – 75 %; № 2 – 80 %; № 3 – 95 %.

19 марта 2021 г.: стадия трёх настоящих листочков в образцах № 2 и № 3 – 100 %; в № 1 – 50 %.

№ 1 № 2 № 3

Рисунок 2 – Экспериментальные образцы

На рисунке 3 показана динамика роста кресс-салата. В опытах № 2 и № 3 отмечено стабильное развитие растений; в № 1 с 22 марта 2021 г. наблюдалось замедление роста.

Рисунок 4 демонстрирует соотношение числа междоузлий и количества листовых пластин на главном побеге в момент снятия эксперимента. По обоим показателям преимущество оказалось у образца № 2, что свидетельствует об интенсивном росте и является доказательством накопления вторичных метаболитов, т. е. идёт процесс активного развития растений.

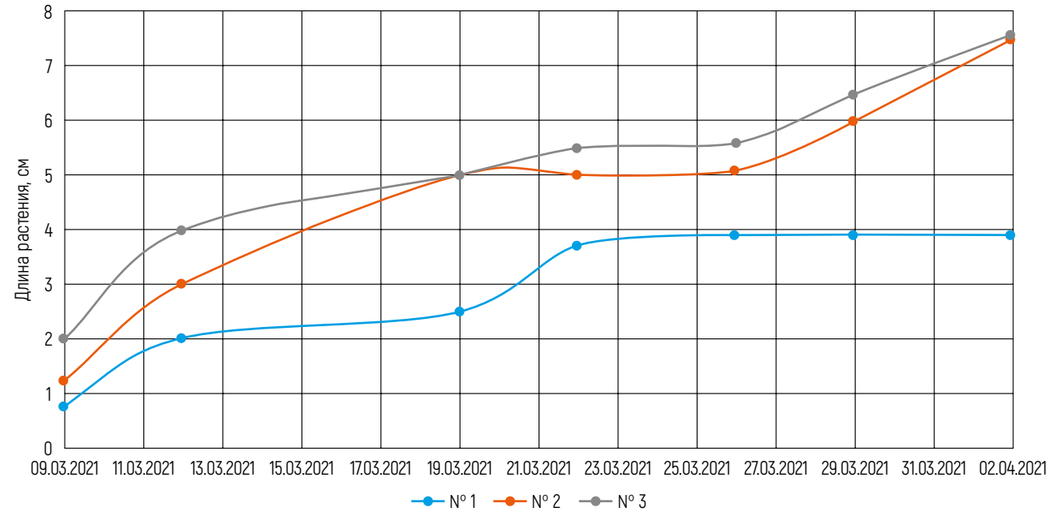


Рисунок 3 – Динамика роста кресс-салата (*Lepidium sativum*)

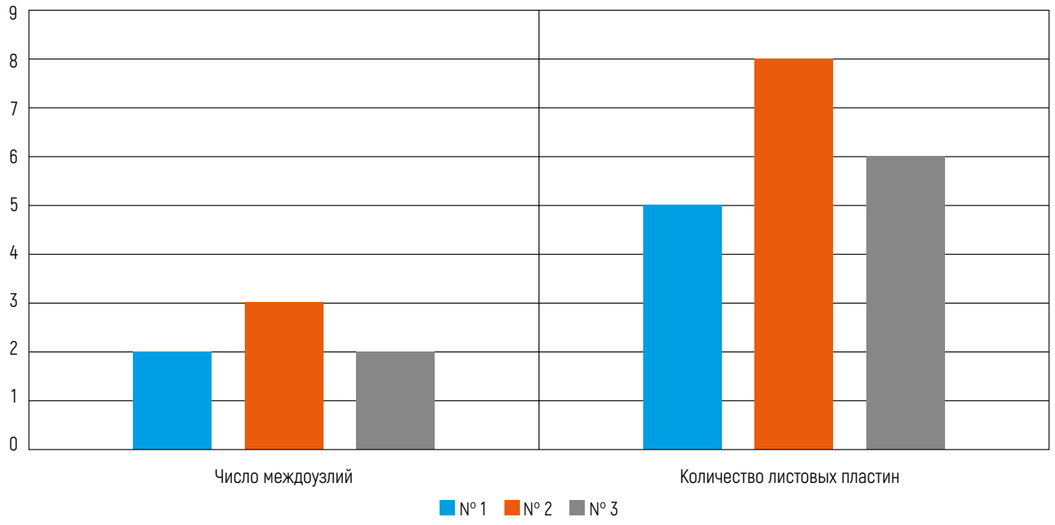


Рисунок 4 – Соотношение числа междоузлий и количества листовых пластин у образцов

В таблице 1 представлены результаты экспериментов, определяющих интенсивность фотосинтеза.

Таблица 1 – Интенсивность фотосинтеза в поставленных экспериментах

Вариант эксперимента	Количество пузырьков за минуту					
	1	2	3	4	5	Среднее
Прозрачный раствор (дистиллированная вода), 20 °С						
№ 1 (отрицательный контроль)	3	3	3	2	2	2,6
№ 2 (ассоциация)	12	12	12	10	10	11,2
№ 3 (положительный контроль)	13	12	12	10	10	11,4

В ходе эксперимента удалось изучить интенсивность фотосинтеза, проходящего в растениях. Кроме того, согласно сведениям таблицы 1 можно отметить, что почвенная минимальная ассоциация смогла создать условия для интенсивного роста и развития кресс-салата, снабдив его не только минеральным питанием, но и углекислым газом. О данном процессе также свидетельствует активность хлорофилла, содержащегося в листьях (рисунок 5).

Насыщенность окраски хлорофилла характеризует его активность и количество в листьях.

В таблице 2 указана чистая продуктивность растений.

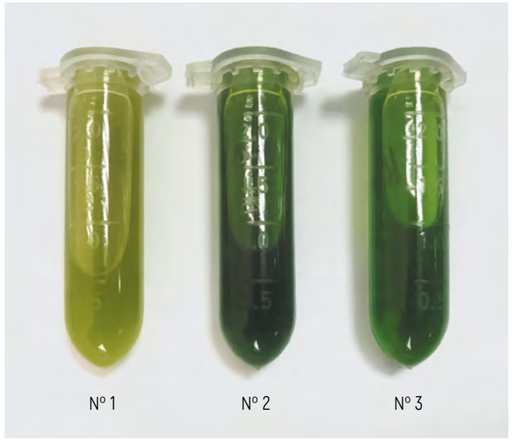


Рисунок 5 – Экстракт хлорофилла, выделенный из образцов

Таблица 2 – Чистая продуктивность в поставленном эксперименте

Вариант опыта	Количество растений, шт.	Сухая масса растений, г	Площадь листьев первой пробы, м^2	Площадь листьев второй пробы, м^2	ЧПФ, г/м^2 в сутки
№ 1 (отрицательный контроль)	10	1,1	0,004	0,006	7,33
№ 2 (ассоциация)	10	15,3	0,004	0,081	12
№ 3 (положительный контроль)	10	15,9	0,004	0,084	12,04

Как видно, интенсивность фотосинтеза и чистая продуктивность кресс-салата в варианте с минимальной почвенной ассоциацией дали положительный результат. Экспериментальные образцы не отставали от роста и развития образцов в положительном контроле, о чём свидетельствуют физиологические показатели.

Чистая продуктивность растений демонстрирует значимый прирост сухой биомассы, которая в свою очередь говорит о сбалансированном развитии *Lepidium sativum*.

Выводы и дальнейшие направления исследования

Восстановление плодородия земли – это процессы создания новой почвы и омоложения старой за счёт минимизации потерь органического вещества верхнего слоя, сохранения большего количества углерода, повышения биоразнообразия, поддержания надлежащего круговорота воды и питательных веществ. Данные факторы помогают снизить риски возникновения эрозии и увеличить общий уровень устойчивости почвы.

При подборе минимальной ассоциации организмов основной уклон сделан на накопление органического вещества и минеральных элементов в доступной для растений или микроорганизмов форме. Исходя из литературного обзора, подобрана ассоциация, с которой и был поставлен эксперимент. Полученные результаты продемонстрировали, что показатели роста и развития кресс-салата (*Lepidium sativum*) на обеднённой почве с внесённой ассоциацией организмов приближены к показателям, отмеченным на положительном контроле, а значит, не уступают пробам, в которых применялись минеральные добавки. Однако возможно, что в ассоциации не до конца сформировались трофические связи между новыми микроорганизмами, поэтому эффект мог быть ещё значительнее при более длительном сосуществовании ассоциации. К тому же имеется дополнительная угроза установления трофических связей между внесёнными и уже обитающими в почве микроорганизмами.

В дальнейшем планируется постановка эксперимента на чистом песке с добавлением уже установленной ассоциации организмов, а также проведение более длительного исследования.

Литература

1. *Стальмакова, В.П. Система ведения сельского хозяйства – экологические аспекты / В.П. Стальмакова, Т.Н. Ашурбекова // Проблемы развития АПК региона. – 2016. – Т. 28, № 4. – С. 62–66.*
2. *Ибрагимов, А.Г. Экологические проблемы сельского хозяйства / А.Г. Ибрагимов // Аграрная наука. – 2019. – № 4. – С. 73–75.*
3. *Short-Term Effects of Organic and Inorganic Fertilizers on Soil Microbial Community Structure and Function / C. Lazcano [et al.] // Biology and Fertility of Soils. – 2012. – Vol. 49, No. 6. – P. 723–733.*
4. *Assessment and Monitoring of Soil Degradation During Land Use Change Using Multivariate Analysis / Y. Khaledian [et al.] // Land Degradation and Development. – 2017. – Vol. 28, No. 1. – P. 128–141.*
5. *Kumar, R. Role of Biofertilizers in Agriculture / R. Kumar, N. Kumawat, Y.K. Sahu // Popular Kheti. – 2017. – Vol. 5, No. 4. – P. 63–66.*
6. *Gomiero, T. Soil Degradation, Land Scarcity and Food Security: Reviewing a Complex Challenge / T. Gomiero // Sustainability. – 2016. – Vol. 8, No. 3. – P. 1–41.*
7. *Natural and Anthropogenic Rates of Soil Erosion / M. Nearing [et al.] // International Soil and Water Conservation Research. – 2017. – Vol. 5, No. 2. – P. 77–84.*

8. *Methods for Assessment of Soil Degradation / R. Lal [et al.]. – Boca Raton: CRC press, 2020. – 558 p.*
9. *Modern Soil Microbiology / J.D. Van Elsas [et al.]. – Boca Raton: CRC press, 2019. – 516 p.: ill.*
10. *Вильдфлуш, И. Эффективность применения микроудобрений и регуляторов роста при возделывании сельскохозяйственных культур / И. Вильдфлуш, А. Цыганов, О. Мишура. – Минск: Беларуская навука, 2011. – 293 с.*
11. *Epstein, E. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives / E. Epstein. – New York: John Wiley, 1972. – 412 p.*
12. *Hewitt, E.J. Plant Mineral Nutrition / E.J. Hewitt, T.A. Smith. – London: English Universities Press, 1975. – 298 p.*
13. *Hopkins, W.G. Introduction to Plant Physiology / W.G. Hopkins. – New York [etc.]: John Wiley and Sons, 1999. – 512 p.*
14. *Cruz, C. Plant Microbiome – The Physiology of Symbiotic Plant Nutrition [Electronic resource] / C. Cruz. – Mode of access: https://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/18860?show=full. – Date of access: 12.05.2021.*
15. *Souri, M.K. Aminochelates in Plant Nutrition: A Review / M.K. Souri, M. Hatamian // Journal of Plant Nutrition. – 2019. – Vol. 42, No. 1. – P. 67–78.*
16. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.: ил.*
17. *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. / Астроинженерные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 145–151.*
18. *Hoorman, J.J. The Role of Soil Bacteria [Electronic resource] / J.J. Hoorman. – Mode of access: https://www.symbio.co.uk/uploads/PDFs/The%20Role%20of%20Soil%2bacteria.pdf. – Date of access: 23.05.2021.*
19. *Barnard, R.L. Responses of Soil Bacterial and Fungal Communities to Extreme Desiccation and Rewetting / R.L. Barnard, C.A. Osborne, M.K. Firestone // The ISME Journal. – 2013. – Vol. 7, No. 11. – P. 2229–2241.*
20. *Santoyo, G. Mechanisms of Biocontrol and Plant Growth-Promoting Activity in Soil Bacterial Species of Bacillus and Pseudomonas: A Review / G. Santoyo, M.C. Orozco-Mosqueda, M. Govindappa // Biocontrol Science and Technology. – 2012. – Vol. 22, No. 8. – P. 855–872.*
21. *Potential Control of Meloidogyne javanica and Ditylenchus spp. Using Fluorescent Pseudomonas and Bacillus spp. / M.F. Turatto [et al.] // Brazilian Journal of Microbiology. – 2018. – Vol. 49, No. 1. – P. 54–58.*
22. *Cyanobacteria and Algae of Biological Soil Crusts / B. Büdel [et al.] // Biological Soil Crusts: An Organizing Principle in Drylands; eds. B. Weber, B. Büdel, J. Belnap. – Cham: Springer, 2016. – P. 55–80.*
23. *Role of Algae as a Biofertilizer / A. Chatterjee [et al.] // Algal Green Chemistry; eds. R.P. Rastogi, D. Madamwar, A. Pandey. – Amsterdam: Elsevier, 2017. – P. 189–200.*
24. *Fernandes, M.S. Mineral Nitrogen in Plant Physiology and Plant Nutrition / M.S. Fernandes, R. Rossiello // Critical Reviews in Plant Sciences. – 1995. – Vol. 14, No. 2. – P. 111–148.*
25. *Glass, A.D.M. Plant Nutrition. An Introduction to Current Concepts / A.D.M. Glass. – Boston: Jones and Bartlett Publishers, 1989. – 234 p.*
26. *Сравнительная характеристика структурных особенностей торфяных гуминовых и гиматомелановых кислот во взаимосвязи со спецификой их физиологического действия / В.В. Платонов [и др.] // Вестник новых медицинских технологий. – 2010. – Т. XVII, № 4. – С. 9–11.*
27. *Portraying Mechanics of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR): A Review / D. Goswami [et al.] // Cogent Food and Agriculture. – 2016. – Vol. 2, No. 1. – P. 112–175.*
28. *Nielsen, R.L. N Loss Mechanisms and Nitrogen Use Efficiency [Electronic resource] / R.L. Nielsen // Purdue Nitrogen Management Workshops. – 2006. – Mode of access: https://www.agry.purdue.edu/ext/pubs/2006NLossMechanisms.pdf. – Date of access: 01.06.2021.*
29. *Robertson, G.P. Nitrogen Use Efficiency in Row-Crop Agriculture: Crop Nitrogen Use and Soil Nitrogen Loss / G.P. Robertson // Ecology in Agriculture. – 1997. – P. 347–365.*
30. *Hause, B. The Role of Jasmonates in Mutualistic Symbioses Between Plants and Soil-Born Microorganisms / B. Hause, S. Schaarschmidt // Phytochemistry. – 2009. – Vol. 70, No. 13. – P. 1589–1599.*
31. *Теучеж, А.А. Изучение роли подвижного фосфора в системе почва – удобрения – урожай / А.А. Теучеж // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 127. – С. 905–917.*
32. *Pyrosequencing Evidences the Impact of Cropping on Soil Bacterial and Fungal Diversity in Laos Tropical Grassland / P. Lienhard [et al.] // Agronomy for Sustainable Development. – 2014. – Vol. 34, No. 2. – P. 525–533.*
33. *Digging Deeper to Find Unique Microbial Communities: The Strong Effect of Depth on the Structure of Bacterial and Archaeal Communities in Soil / K.G. Eilers [et al.] // Soil Biology and Biochemistry. – 2012. – Vol. 50. – P. 58–65.*
34. *Metagenomic Analysis of Some Potential Nitrogen-Fixing Bacteria in Arable Soils at Different Formation Processes / A. Wolińska [et al.] // Microbial Ecology. – 2017. – Vol. 73, No. 1. – P. 162–176.*
35. *Bacterial Populations in Juvenile Maize Rhizospheres Originate from Both Seed and Soil / D.M. Johnston-Monje [et al.] // Plant and Soil. – 2016. – Vol. 405, No. 1–2. – P. 337–355.*
36. *Common and Distinguishing Features of the Bacterial and Fungal Communities in Biological Soil Crusts and Shrub Root Zone Soils / B. Steven [et al.] // Soil Biology and Biochemistry. – 2013. – Vol. 69. – P. 302–312.*
37. *Micallef, S. Influence of Arabidopsis thaliana Accessions on Rhizobacterial Communities and Natural Variation in Root Exudates / S. Micallef, M.P. Shiaris, A. Colón-Carmona // Journal of Experimental Botany. – 2009. – Vol. 60, No. 6. – P. 1729–1742.*
38. *Mercado-Blanco, J. Interactions Between Plants and Beneficial Pseudomonas spp.: Exploiting Bacterial Traits for Crop Protection / J. Mercado-Blanco, P. Bakker // Antonie van Leeuwenhoek. – 2007. – Vol. 92, No. 4. – P. 367–389.*

УДК 631.427

Плодородие и физико-химические показатели лёгких «космических» почвогрунтов для ЭкоКосмоДома

Юницкий А.Э.[1, 2]
Костеневич А.А.[2]
Зыль Н.С.[2]
Парфенчик М.М.[2]
Конёк Д.А.[2]

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

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

При разработке почвогрунта для замкнутой экосистемы в космическом пространстве (в ЭкоКосмоДоме (ЭКД)) авторы в 2020 г. теоретически обосновали создание «космического» почвогрунта, состоящего из лёгких минеральных наполнителей и органической части – гумуса UniTerra (далее – uTerra). В настоящем исследовании произведён подбор лёгких минеральных (перлит, керамзит, смесь перлита и керамзита) и органических компонентов почвы. Изучены физико-химические и агрономические показатели представленных лёгких «космических» почвогрунтов, в которые добавлен биогумус с дождевыми червями *Eisenia andrei.* На новой почве высажены растения, проведены эксперименты по влиянию ингредиентов разработанного почвогрунта на рост и развитие растительных культур, проанализированы агрохимические характеристики образованных почвогрунтов. На основании полученных данных определены улучшенные составы лёгких «космических» почвогрунтов, обозначены перспективные направления дальнейшего исследования.

Ключевые слова:
макроэлементы, микроэлементы, почва, универсальный субстрат для растений, почвогрунт, лёгкий почвогрунт, гумус, почвенные микроорганизмы, ЭкоКосмоДом (ЭКД), замкнутая экосистема, экология.

Введение

Тема исследования возникла из нескольких современных предпосылок, актуальность которых в последнее время только растёт.

Во-первых, производство растительной продукции является одним из видов деятельности, обеспечивающих удовлетворение базовых потребностей человека [1].

От эффективности и экологичности сельского хозяйства в целом и растениеводства в частности во многом зависят качество жизни и уровень здоровья жителей нашей планеты [2].

В последние 100 лет в агропромышленном секторе начали активно использовать минеральные удобрения, пестициды, гербициды, антибиотики и многие другие искусственно полученные соединения [3]. Их широкое применение (несмотря на наличие природных аналогов) неизбежно оказывает негативное влияние на качество растительной продукции, во многих случаях загрязняя её нехарактерными для живой природы веществами. Кроме того, неумеренное потребление различных агрохимикатов снижает концентрацию гумуса в почве, убивает почвенные макро- и микроорганизмы и таким образом разрушающе воздействует на биосферу планеты [3–5].

В погоне за сиюминутной выгодой и исключительно количественными показателями многие фермеры превышают норму вносимых минеральных удобрений, на каком-то этапе имея больший объём низкокачественной растительной продукции. Её невысокие потребительские свойства зачастую дополняются прямой угрозой здоровью людей ввиду увеличенного содержания нитратов, тяжёлых металлов или иных опасных для человека составляющих (некоторые из них могут быть и в природной пище, но в других пропорциях) [6, 7].

Во-вторых, развитие технологии всегда требует применения более прогрессивных материалов, которые превосходят по своим параметрам предшествующие [8]. Рассматривая с такой точки зрения инновационные экологичные субстраты, разработанные для интенсивного производства растительной продукции, стоит отметить их основные характеристики [9]:

- баланс всех макро-, микро- и ультрамикроэлементов;
- правильный микробиологический состав;
- влагоёмкость;
- воздухопроницаемость;
- отсутствие вредных примесей;
- плотность.

На сегодняшний день снижение последнего показателя – плотности – становится ещё актуальнее. Если данное свойство почвы не имеет существенного значения для выращивания культур на поле, то при использовании специально подготовленного субстрата для культивирования растений при организации различного рода многоярусных теплиц, экопоселений с садами на крышах, частных биодомов оно играет важную роль [10]. Такая особенность обусловлена следующим: чем больше плотность применяемого субстрата, тем бóльшую прочность нужно закладывать при проектировании несущей конструкции объектов и тем больше материалов потребуется, а значит, тем выше будет стоимость постройки.

По указанным причинам в настоящее время отечественными и зарубежными учёными активно исследуется вопрос создания лёгкого, но в то же время плодородного субстрата для высадки растений, который позволит получать экологически безопасную растительную продукцию и при этом будет иметь невысокую плотность относительно природной почвы [11–14].

В статье [15], рассматривающей тему лёгких «космических» почвогрунтов, которые позволят минимизировать стоимость их доставки на орбиту, теоретически проработаны возможные составы для использования в ЭкоКосмоДоме (ЭКД). ЭКД – часть космического индустриального ожерелья «Орбита» (КИО «Орбита»); представляет собой замкнутую экосистему, находящуюся в космосе и оптимизированную для проживания и работы людей в комфортных, «земных», условиях [16] (рисунок 1).

Кроме того, в [15] также описаны различные варианты минеральной части почвогрунтов, поставлены предварительные эксперименты, которые подтвердили перспективность выбранного направления.

Цель данной работы – опытным путём проверить агрономические характеристики составленных образцов лёгких «космических» почвогрунтов, которые планируется использовать в качестве субстрата для культивирования растений в ЭКД. Исследование необходимо проводить с пониманием следующего: многометровый слой почвы в ЭКД должен обеспечить в том числе ещё две важные функции, а именно противометеоритную и противорадиационную защиту жизней, находящихся внутри замкнутой экосистемы орбитального дома, включая людей.

В настоящей статье представлены показатели измерений роста и развития растений, даны результаты агрохимических анализов, а также предложены новые составы «космических» почвогрунтов.

Методы исследования

В ходе эксперимента проводился контроль элементного состава почвогрунтов, при этом использовались технические нормативные правовые акты, согласно которым выполнялся анализ следующих характеристик:

- уровень влажности – ГОСТ 26268-89;
- уровень зольности – СТБ 2042-2010;
- уровень pH – СТБ 17.13.05-36-2015;
- содержание калия – ГОСТ 26207-91;
- содержание общего азота – ГОСТ 26715-85;
- содержание нитратного азота в песчаной почве – СТБ 17.13.05-28-2014;
- содержание нитратного азота в торфе – ГОСТ 27894.4-88;
- содержание фосфора – ГОСТ 26207-91.

Рисунок 1 – Визуализация КИО «Орбита» [17]

Ход эксперимента

В 2019–2020 гг. разработаны три состава лёгких «космических» почвогрунтов, выбраны растения и начат эксперимент по определению агрономических качеств составов. Дата начала нового исследования – 1 февраля 2021 г.: высажены три из четырёх растений верхнего яруса на каждой из гряд.

Состав № 1: 90 % объёма керамзита + 5 % объёма гумуса uTerra + 5 % объёма биогумуса (рисунок 2).

Состав № 2: 45 % объёма керамзита + 45 % объёма перлита + 5 % объёма гумуса uTerra + 5 % объёма биогумуса (рисунок 3).

Состав № 3: 90 % объёма перлита + 5 % объёма гумуса uTerra + 5 % объёма биогумуса (рисунок 4).

В ходе эксперимента (рисунок 5) в верхнюю часть опытных гряд (через один месяц после высадки растений) заложен слой биогумуса толщиной около 5 см, а также заселены красные калифорнийские черви из расчёта 2×10^6 на 1 га площади.

Рисунок 2 – Растения, высаженные с использованием состава № 1.
Верхний ярус: лимон, лайм, кумкват, банан;
нижний ярус: мята, тимьян, розмарин

Рисунок 4 – Растения, высаженные с использованием состава № 3.
Верхний ярус: мандарин, лайм, кумкват, лавр;
нижний ярус: мята, тимьян, розмарин

Рисунок 3 – Растения, высаженные с использованием состава № 2.
Верхний ярус: мандарин, лайм, кумкват;
нижний ярус: мята, тимьян, розмарин

Рисунок 5 – Общий вид гряд
с лёгкими «космическими» почвогрунтами

Динамика роста растений

В процессе исследования проводились замеры ростовых параметров, контролировались температура и влажность в помещении. Сводные данные показаны в таблице 1.

Подробная информация приведена в таблице 2.

Средняя температура в помещении в период с 1 февраля 2021 г. по 5 апреля 2021 г. – 22,44 °C (фиксация дважды в неделю).

Средняя влажность в помещении в период с 1 февраля 2021 г. по 5 апреля 2021 г. – 31 % (фиксация дважды в неделю).

Таблица 1 – Физиологические показатели растений

Растение	Период контроля	Прирост высоты, см	Количество побегов, шт.	Прирост побегов, см	Количество молодых листьев, шт.	Средняя длина молодого листа, см
Состав № 1						
Лимон	01.02.2021 – 05.04.2021	10	22,25	3,8	3	4
Лайм	01.02.2021 – 05.04.2021	9	20,85	4,9	4	7,4
Кумкват	01.02.2021 – 05.04.2021	16	17,55	3,9	2	6,6
Банан*	08.04.2021 – 30.04.2021	10	–	–	2	10
Состав № 2						
Мандарин	01.02.2021 – 05.04.2021	6	25,6	3,6	4	2,8
Лайм	01.02.2021 – 05.04.2021	12	14,25	6,7	5	5,6
Кумкват	01.02.2021 – 05.04.2021	3	1,55	2,1	2	1,8
Состав № 3						
Мандарин	01.02.2021 – 05.04.2021	9	29,8	9,1	2	6,4
Лайм	01.02.2021 – 05.04.2021	8	25,8	5,1	3	2,2
Кумкват	01.02.2021 – 05.04.2021	8	13,8	2,9	2	2,3
Лавр*	12.03.2021 – 05.04.2021	5	9,2	1,8	2	1,4

* Банан и лавр подсажены позже.

Таблица 2 – Прирост растений на грядах с опытными лёгкими «космическими» почвогрунтами

Дата	Высота растения, см	Количество побегов, шт.	Длина побега, см	Количество молодых листьев, шт.	Средняя длина молодого листа, см	Температура в помещении, °C	Влажность, %
1	2	3	4	5	6	7	8
Лимон (состав № 1)							
01.02.2021	40	18	16	9	6	21,7	39
05.02.2021	40	18	16	9	6,3	21,9	39
08.02.2021	41	18	16,5	9	6,9	20,8	40
12.02.2021	41	20	16,5	9	7,2	21,2	40
15.02.2021	43	20	17	9	7,8	20,8	40
19.02.2021	44	22	17	10	8,5	20,6	40

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8
22.02.2021	46	22	17,5	10	8,7	21,8	41
26.02.2021	47	22	17,5	10	8,8	22,1	41
01.03.2021	48	22	18	10	9	21,9	41
05.03.2021	48	22	18,1	11	9,5	23	23
09.03.2021	48	23	18,3	11	9,5	23,4	24
13.03.2021	48	23	18,4	11	9,6	23,1	23
15.03.2021	49	23	18,6	11	9,6	23,6	25
17.03.2021	49	24	18,7	11	9,7	24,1	23
19.03.2021	49	24	18,8	12	9,7	22,8	24
22.03.2021	49	24	19	12	9,7	23,2	26
26.03.2021	49	25	19,1	12	9,8	23,4	23
29.03.2021	50	25	19,3	12	9,9	23,4	22
02.04.2021	50	25	19,5	12	9,9	22,7	23
05.04.2021	50	25	19,8	12	10	23,3	23
Лайм (состав № 1)							
01.02.2021	81	15	5	3	3	21,7	39
05.02.2021	81	15	5	3	3,5	21,9	39
08.02.2021	82	17	5,5	3	3,9	20,8	40
12.02.2021	82	17	5,5	3	4,6	21,2	40
15.02.2021	83	19	6	4	5,4	20,8	40
19.02.2021	84	20	6,5	4	6,8	20,6	40
22.02.2021	84	20	7	4	7,6	21,8	41
26.02.2021	85	21	7,5	4	9	22,1	41
01.03.2021	86	21	8	4	9,2	21,9	41
05.03.2021	86	21	8,2	4	9,7	23	23
09.03.2021	86	21	8,5	5	10	23,4	24
13.03.2021	87	21	8,7	6	10	23,1	23
15.03.2021	87	22	8,9	6	10	23,6	25
17.03.2021	87	23	8,9	6	10,1	24,1	23
19.03.2021	88	24	9	6	10,2	22,8	24
22.03.2021	89	24	9,2	6	10,3	23,2	26
26.03.2021	89	24	9,4	7	10,3	23,4	23
29.03.2021	89	24	9,6	7	10,4	23,4	22

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8
02.04.2021	90	24	9,8	7	10,4	22,7	23
05.04.2021	90	24	9,9	7	10,4	23,3	23
Кумкват (состав № 1)							
01.02.2021	62	2	4	4	1,2	21,7	39
05.02.2021	62	2	4	4	1,5	21,9	39
08.02.2021	63	6	4,5	4	2	20,8	40
12.02.2021	65	10	4,5	4	2,6	21,2	40
15.02.2021	68	12	5	5	3,4	20,8	40
19.02.2021	70	15	5,5	5	4,6	20,6	40
22.02.2021	71	20	6	5	5,8	21,8	41
26.02.2021	73	21	6,5	5	6,2	22,1	41
01.03.2021	75	21	7	5	7	21,9	41
05.03.2021	76	22	7,2	5	7,4	23	23
09.03.2021	76	22	7,3	5	7,4	23,4	24
13.03.2021	76	22	7,3	5	7,5	23,1	23
15.03.2021	76	22	7,5	5	7,6	23,6	25
17.03.2021	76	22	7,5	5	7,6	24,1	23
19.03.2021	76	22	7,6	5	7,7	22,8	24
22.03.2021	77	22	7,6	5	7,7	23,2	26
26.03.2021	77	22	7,7	6	7,7	23,4	23
29.03.2021	78	22	7,7	6	7,8	23,4	22
02.04.2021	78	22	7,8	6	7,8	22,7	23
05.04.2021	78	22	7,9	6	7,8	23,3	23
Банан (состав № 1)							
08.04.2021	30	–	–	6	21	23,3	23
12.04.2021	30	–	–	6	21	23,3	23
16.04.2021	31	–	–	6	23	23,3	23
19.04.2021	33	–	–	7	26	23,3	23
23.04.2021	36	–	–	7	29	23,3	23
26.04.2021	39	–	–	8	31	23,3	23
30.04.2021	40	–	–	8	33	23,3	23
Мандарин (состав № 2)							
01.02.2021	64	20	2	4	2,7	21,7	39

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8
05.02.2021	64	20	2	4	2,9	21,9	39
08.02.2021	64	20	2,5	5	3,2	20,8	40
12.02.2021	65	23	2,5	5	3,3	21,2	40
15.02.2021	65	23	2,5	5	3,4	20,8	40
19.02.2021	65	23	3	5	3,6	20,6	40
22.02.2021	65	26	3	6	3,8	21,8	41
26.02.2021	66	26	3	6	3,9	22,1	41
01.03.2021	66	26	3,5	6	4	21,9	41
05.03.2021	66	27	3,6	6	4,1	23	23
09.03.2021	66	27	3,8	7	4,2	23,4	24
13.03.2021	67	27	3,9	7	4,3	23,1	23
15.03.2021	67	27	4	7	4,5	23,6	25
17.03.2021	67	27	4,3	7	4,7	24,1	23
19.03.2021	68	28	4,6	7	4,8	22,8	24
22.03.2021	68	28	4,9	7	4,9	23,2	26
26.03.2021	68	28	5	8	5	23,4	23
29.03.2021	69	28	5,2	8	5,2	23,4	22
02.04.2021	69	29	5,4	8	5,3	22,7	23
05.04.2021	70	29	5,6	8	5,5	23,3	23
Лайм (состав № 2)							
01.02.2021	66	11	12	5	6	21,7	39
05.02.2021	67	11	12	5	6,5	21,9	39
08.02.2021	68	11	12,5	6	7,2	20,8	40
12.02.2021	69	12	13	6	7,8	21,2	40
15.02.2021	70	12	13,5	7	8,5	20,8	40
19.02.2021	71	14	13,5	7	9,2	20,6	40
22.02.2021	72	14	14,5	8	9,5	21,8	41
26.02.2021	73	14	15	8	9,8	22,1	41
01.03.2021	75	14	16	8	10,2	21,9	41
05.03.2021	75	14	17,2	8	10,8	23	23
09.03.2021	75	14	17,4	8	10,9	23,4	24
13.03.2021	76	14	17,6	8	10,9	23,1	23
15.03.2021	76	14	17,7	8	10,9	23,6	25

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8
17.03.2021	76	15	17,9	9	11	24,1	23
19.03.2021	76	16	18,2	9	11,2	22,8	24
22.03.2021	77	16	18,3	9	11,2	23,2	26
26.03.2021	77	16	18,5	9	11,2	23,4	23
29.03.2021	77	17	18,6	9	11,4	23,4	22
02.04.2021	78	18	18,7	10	11,5	22,7	23
05.04.2021	78	18	18,7	10	11,6	23,3	23
Кумкват (состав № 2)							
01.02.2021	60	1	1	3	2,8	21,7	39
05.02.2021	60	1	1	3	3	21,9	39
08.02.2021	60	1	1,5	3	3,1	20,8	40
12.02.2021	60	1	1,5	3	3,3	21,2	40
15.02.2021	60	1	1,5	4	3,5	20,8	40
19.02.2021	60	1	1,5	4	3,7	20,6	40
22.02.2021	61	1	2	4	3,8	21,8	41
26.02.2021	61	1	2	4	3,9	22,1	41
01.03.2021	61	1	2,5	4	4	21,9	41
05.03.2021	61	1	2,5	4	4,1	23	23
09.03.2021	61	1	2,5	4	4,1	23,4	24
13.03.2021	61	1	2,5	4	4,1	23,1	23
15.03.2021	61	1	2,6	4	4,2	23,6	25
17.03.2021	61	1	2,6	4	4,3	24,1	23
19.03.2021	61	1	2,7	4	4,3	22,8	24
22.03.2021	61	2	2,9	4	4,4	23,2	26
26.03.2021	62	3	2,9	4	4,4	23,4	23
29.03.2021	62	3	3	4	4,5	23,4	22
02.04.2021	63	4	3	5	4,6	22,7	23
05.04.2021	63	4	3,1	5	4,6	23,3	23
Мандарин (состав № 3)							
01.02.2021	74	27	5	7	3,6	21,7	39
05.02.2021	74	27	5	7	3,8	21,9	39
08.02.2021	74	29	5,5	7	4	20,8	40
12.02.2021	74	29	5,5	7	4,2	21,2	40

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8
15.02.2021	75	32	5,5	7	4,5	20,8	40
19.02.2021	75	32	6	7	4,6	20,6	40
22.02.2021	76	34	6	8	4,8	21,8	41
26.02.2021	76	34	6	8	4,9	22,1	41
01.03.2021	77	34	6,5	8	5	21,9	41
05.03.2021	77	35	6,8	8	5	23	23
09.03.2021	77	35	7	8	5,2	23,4	24
13.03.2021	79	27*	12,8	8	9,4	23,1	23
15.03.2021	79	27	13	8	9,6	23,6	25
17.03.2021	80	27	13,2	9	9,7	24,1	23
19.03.2021	80	27	13,5	9	9,9	22,8	24
22.03.2021	81	28	13,6	9	9,9	23,2	26
26.03.2021	81	28	13,7	9	9,9	23,4	23
29.03.2021	82	28	13,8	9	9,9	23,4	22
02.04.2021	82	28	14	9	10	22,7	23
05.04.2021	83	28	14,1	9	10	23,3	23
Лайм (состав № 3)							
01.02.2021	75	20	9	6	7,8	21,7	39
05.02.2021	75	20	9,5	6	8	21,9	39
08.02.2021	75	22	9,5	6	8,1	20,8	40
12.02.2021	76	22	10	7	8,2	21,2	40
15.02.2021	76	23	10,5	7	8,5	20,8	40
19.02.2021	77	26	11	7	8,7	20,6	40
22.02.2021	78	26	11	8	8,8	21,8	41
26.02.2021	78	27	11,5	8	9	22,1	41
01.03.2021	79	27	12	8	9,1	21,9	41
05.03.2021	79	27	12,4	8	9,2	23	23
09.03.2021	79	27	12,7	8	9,4	23,4	24
13.03.2021	79	27	12,8	8	9,4	23,1	23
15.03.2021	79	27	13	8	9,6	23,6	25
17.03.2021	80	27	13,2	9	9,7	24,1	23
19.03.2021	80	27	13,5	9	9,9	22,8	24

* Проведена обрезка побегов.

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8
22.03.2021	81	28	13,6	9	9,9	23,2	26
26.03.2021	81	28	13,7	9	9,9	23,4	23
29.03.2021	82	28	13,8	9	9,9	23,4	22
02.04.2021	82	28	14	9	10	22,7	23
05.04.2021	83	28	14,1	9	10	23,3	23
Кумкват (состав № 3)							
01.02.2021	61	3	2	4	4,3	21,7	39
05.02.2021	61	3	2	4	4,5	21,9	39
08.02.2021	61	6	2	4	4,7	20,8	40
12.02.2021	62	7	2,5	4	4,9	21,2	40
15.02.2021	62	13	2,5	4	5	20,8	40
19.02.2021	63	13	3	4	5,2	20,6	40
22.02.2021	64	14	3,5	5	5,4	21,8	41
26.02.2021	66	16	3,5	5	5,6	22,1	41
01.03.2021	67	16	4	5	5,9	21,9	41
05.03.2021	67	17	4,3	5	6,3	23	23
09.03.2021	67	17	4,4	5	6,4	23,4	24
13.03.2021	67	16*	4,4	5	6,4	23,1	23
15.03.2021	67	16	4,5	5	6,4	23,6	25
17.03.2021	68	16	4,5	5	6,4	24,1	23
19.03.2021	68	16	4,6	5	6,4	22,8	24
22.03.2021	68	17	4,6	5	6,5	23,2	26
26.03.2021	69	17	4,7	5	6,5	23,4	23
29.03.2021	69	17	4,8	5	6,5	23,4	22
02.04.2021	69	18	4,8	6	6,5	22,7	23
05.04.2021	69	18	4,9	6	6,6	23,3	23
Лавр (состав № 3)							
12.03.2021	62	19	9,5	5	6,5	23,1	23
15.03.2021	62	19	9,7	5	6,6	23,6	25
17.03.2021	63	20	10	5	6,8	24,1	23
19.03.2021	63	20	10,2	6	6,9	22,8	24
22.03.2021	64	20	10,4	6	7,1	23,2	26

* Проведена обрезка побегов.

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8
26.03.2021	65	21	10,6	6	7,3	23,4	23
29.03.2021	66	21	10,9	6	7,5	23,4	22
02.04.2021	66	21	11,1	7	7,7	22,7	23
05.04.2021	67	22	11,3	7	7,9	23,3	23

На начальной стадии исследования незначительно отличается влияние конкретного почвогрунта на рост и развитие отобранных культур. В настоящем эксперименте активная вегетация присуща всем видам растений кустарниковой и древесной формы, пряно-ароматическим травам и банану. Согласно полученным результатам прирост побегов всех растений находится на приблизительно одном уровне.

В качестве наглядного примера выбраны показатели по лайму кислому (*Citrus* × *Aurantiifolia* (Christm.) Swingle), так как он представлен во всех вариантах грунта. Растение продемонстрировало следующую динамику роста (рисунок 6).

Согласно графику на рисунке 6 у всех исследуемых экземпляров лайма наблюдается так называемая стадия IV – стационарное состояние развития, что свидетельствует о начале вегетационного периода у древесных культур.

Показатели роста напрямую указывают на физиологическую активность ферментов и фитогормонов в организмах [18]. Обычно установление скорости прироста на одном уровне говорит о наличии устаревания растений или (если это многолетние растения) о начале перехода в стадию репродукции (цветения) [19].

Активной жизни растений способствуют заселённые в опытные гряды земляные черви и живущие в почвогрунтах мелкие почвенные насекомые, которые перерабатывают в гумус имеющуюся и возвращаемую в почвогрунт органику (сухие листья, стебли, отмирающие корешки) [20]. Через три месяца исследования также наблюдалась активность земляных червей.

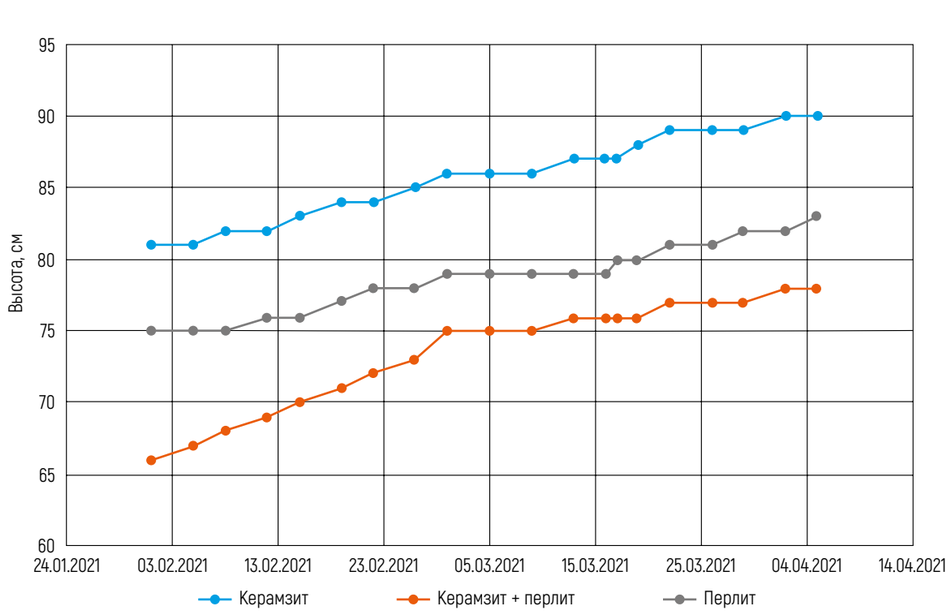


Рисунок 6 – Динамика роста лайма кислого (*Citrus* × *Aurantiifolia* (Christm.) Swingle)

Химические исследования лёгких «космических» почвогрунтов

Для изучения изменения состава лёгких «космических» почвогрунтов проведены химические анализы (результаты показаны в таблице 3). Образцы отбирались до закладки почвогрунтов в гряды и через три месяца.

На основе полученных данных можно сделать следующие предположения об агрохимических и микробиологических процессах, происходящих в рассматриваемых почвогрунтах.

Зольность всех образцов снижается, а количество макроэлементов и гуминовых кислот увеличивается. Подобные изменения свидетельствуют об активной работе микроорганизмов, использовании ими минеральной части лёгких «космических» почвогрунтов в своей жизнедеятельности и, соответственно, о включении минералов в круговорот вещества и энергии в биосфере [21, 22].

Самое высокое содержание питательных элементов и их максимальный количественный прирост наблюдается в составе № 3. С одной стороны, это может говорить о значительном начальном содержании питательных веществ, скорости роста микроорганизмов и большей ценности почвогрунта [23]. С другой – данный факт указывает на то, что перлит из-за своей сорбционной способности удерживает слишком много питательных элементов

Таблица 3 – Результаты агрохимических анализов экспериментальных образцов лёгких «космических» почвогрунтов

Состав	Зольность, %	pH	Калия оксид, мг/100 г	Фосфаты, мг/100 г	Нитраты, мг/100 г	Азот общий, %	Гуминовые кислоты, %
До высадки растений							
Состав № 1	90,63	6	52,1	27,3	17,5	0,19	11,08
Состав № 2	90,71	5,9	54,71	28,4	29,4	0,3	10,8
Состав № 3	91,12	6,8	128,1	56,8	64,1	0,35	11,3
Спустя три месяца после высадки растений							
Состав № 1	87,92	6,3	76,2	49,8	30	0,16	12,58
Состав № 2	86,67	6,3	147,6	64,2	95	0,31	11,95
Состав № 3	87,4	6,5	274,9	119	165	0,53	12,41

и относительно медленно их отдаёт [24]. Показатель кислотности находится в оптимальном диапазоне для всех составов и кардинально не меняется, тем самым подтверждая стабильность системы [25]. Существенный относительный прирост концентраций макроэлементов прослеживается в составе № 2, значит, в нём интенсивнее протекают агрохимические и микробиологические процессы.

Новый опыт с учётом полученных данных

Проанализировав полученные данные, авторы пришли к выводу, что для более глубоких исследований необходимо использовать и другие виды сырья. Требуется изучить различные соотношения (качественные и фракционные) компонентов для полного понимания сути биологических и химических процессов, протекающих в лёгких «космических» почвогрунтах.

На основании полученной информации, комбинируя различные по качественному и фракционному составу варианты, можно добиться наилучших агрономических качеств разрабатываемого продукта (содержание макро- и микроэлементов питания, наличие агрономически ценных микроорганизмов, способность удерживать и отдавать влагу и др.) при его наименьшей плотности.

Новые доработанные составы приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Расширенные составы лёгких «космических» почвогрунтов

Наименование компонентов и их объёмное соотношение	Объём почвогрунта, л	Количество органических компонентов	Плотность полученного состава, т/м^3
1. Перлит 0,16–3 мм	1	Биогумус 50 г Гумус uTerra 50 г	0,142
2. Керамзит 1–3 мм	1	Биогумус 50 г Гумус uTerra 50 г	0,505
3. Перлит 0,16–3 мм + керамзит 1–3 мм (2 : 1)	1	Биогумус 50 г Гумус uTerra 50 г	0,263
4. Перлит 0,16–5 мм + керамзит 1–5 мм (2 : 1)	1	Биогумус 50 г Гумус uTerra 50 г	0,24
5. Выкладка слоями в соотношении 4 : 1: • перлит 0,16–5 мм (сверху) • керамзит 1–5 мм (снизу)	1	Биогумус 50 г Гумус uTerra 50 г	0,198

На рисунке 7 показаны составы с высаженной мятой. Следует отметить: корни доходят до дна, т. е. растения прижились и активно вегетируют.

Рисунок 7 – Новые составы лёгких «космических» почвогрунтов

Выводы и дальнейшие направления исследования

Все высаживаемые в лёгкие «космические» почвогрунты растения (лимон, банан, мандарин, лайм, кумкват, лавр, мята, тимьян, розмарин) легко приживаются, быстро растут, имеют здоровый вид и насыщенный зелёный окрас, характеризуются нормальным минимумом отмирающих листьев. По результатам агрохимических анализов содержание питательных веществ в лёгких «космических» почвогрунтах находится на высоком уровне.

В грядах активно живут и размножаются земляные черви, а также мелкие почвенные насекомые. Это говорит об интенсивном протекании биологических процессов в разрабатываемых лёгких «космических» почвогрунтах, в том числе о разложении в них органики (листьев, сухих веток и др.) и её последующем возврате в биологический цикл.

Учитывая положительную динамику роста растений и агрохимические показатели лёгких «космических» почвогрунтов, авторы считают, что подобранные субстраты оптимально подходят для выращивания не только плодовых деревьев (в настоящем исследовании – цитрусовых), пряно-ароматических трав, банана, но и зеленных, овощных культур и других растений со схожими требованиями к почве.

Проанализировав информацию о ростовых показателях высаженных культур, можно утверждать, что на всех лёгких «космических» почвогрунтах растения прижились и интенсивно вегетируют, а различия в полученных данных для разных составов могут быть вызваны индивидуальными особенностями растительных организмов. Такой результат объясняется подходящим микробиомом и хорошим балансом питательных элементов исследованных составов, в которых использованы в качестве органической части биогумус и гумус uTerra, произведённый на основе бурого угля.

Для определения оптимальной рецептуры требуется протестировать новые почвогрунты, указанные в статье. Кроме того, следует провести анализ технико-экономических характеристик всех представленных почвогрунтов. Таким образом будут определены идеальные составы лёгких «космических» почвогрунтов, которые позволят выращивать в ЭКД качественную, полезную для здоровья экопродукцию и имеют минимальную массу, способствующую снижению стоимости их доставки на орбиту.

Литература

1. *Корнекова, С.Ю. Роль продовольственного потребления в удовлетворении потребностей человека: эволюция представлений / С.Ю. Корнекова // Петербургский экономический журнал. – 2017. – № 3. – С. 7–14.*
2. *Косинский, П.Д. Взаимосвязь качества питания и качества жизни населения: региональный аспект / П.Д. Косинский, А.В. Харитонов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 7 (1). – С. 130–133.*
3. *Безуглов, В.Г. Минеральные удобрения и свойства почвы / В.Г. Безуглов, Г.Д. Гогмачадзе // АгроЭкоИнфо. – 2009. – № 2 (5). – С. 3–7.*
4. *Филон, В.И. Исследование природы гумусовых веществ, подверженных непосредственному воздействию минеральных удобрений / В.И. Филон // Агрохимия. – 2004. – № 8. – С. 61–65.*
5. *Zaker, M. Natural Plant Products as Eco-Friendly Fungicides for Plant Diseases Control – A Review / M. Zaker // The Agriculturists. – 2016. – Vol. 14, No. 1. – P. 134–141.*
6. *Крохалёва, С.И. Содержание нитратов в растительных продуктах питания и их влияние на здоровье человека / С.И. Крохалёва, П.В. Черепанов // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. – 2016. – № 3 (24). – С. 27–36.*

7. *Осипова, Н.А. Тяжёлые металлы в почве и овощах как фактор риска для здоровья человека / Н.А. Осипова, Е.Г. Язиков, Е.П. Янкович // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8 (3) – С. 681–686.*
8. *Советников, Д.О. Лёгкие стальные тонкостенные конструкции в многоэтажном строительстве / Д.О. Советников, Н.В. Виденков, Д.А. Трубина // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – № 3 (30). – С. 152–165.*
9 *Научно-технические основы круглогодичного получения высоких урожаев качественной растительной продукции при искусственном освещении / Г.Г. Панова [и др.] // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2015. – № 4. – С. 17–21.*
10. *Трушева, Н.А. Озеленение крыш и фасадов зданий как способ рациональной организации городского пространства и жизни растений / Н.А. Трушева // Инновации в ландшафтной архитектуре: материалы VII науч.-практ. конф., Н. Новгород, 6 апр. 2011 г. / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2011. – С. 112–115.*
11. *More Than Just a Green Facade: The Sound Absorption Properties of a Vertical Garden with and Without Plants / M.M. Davis [et al.] // Building and Environment. – 2017. – No. 116. – P. 64–72.*
12. *Li, Y. Trade-Off Between Soil pH, Bulk Density and Other Soil Physical Properties Under Global No-Tillage Agriculture / Y. Li // Geoderma. – 2020. – No. 361. – 14099.*
13. *Гидропонное устройство для выращивания растений и система выращивания, использующая это устройство: пат. RU 2746805 C1 / А.И. Аминов. – Опубл. 21.04.2021.*
14. *Конструкции субстратов для выращивания растений на основе мха Sphagnum и способ их получения: пат. RU2656551 C2 / А. Эрккиля , К. Иммонен, К. Киннунен, А. Оксанен, Р. Тахвонен, Л. Сяркка, Ю. Няккиля, Т. Хьельт, К. Йокинен. – Опубл. 05.06.2018.*
15. *Разработка состава почвогрунта для замкнутой экосистемы в космическом пространстве / А.Э. Юницкий [и др.] // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 12 сент. 2020 г. / Астроинженерные технологии, Струнные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – С. 412–423.*
16. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.: ил.*
17. *Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / Астроинженерные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – 240 с.*
18. *Jasmonates Are Phytohormones with Multiple Functions, Including Plant Defense and Reproduction / N.C. Avanci [et al.] // Genetics and Molecular Research. – 2010. – Vol. 9, No. 1. – P. 484–505.*
19. *Ikram, S. Flowering and Fruiting Responses of Strawberry to Growth Hormone and Chilling Grown Under Tunnel Conditions / S. Ikram, K.M. Qureshi, N. Khalid // Pakistan Journal of Agricultural Sciences. – 2016. – Vol. 53, No. 4. – P. 911–916.*
20. *Симонович, Е.И. Анализ экосистемной роли почвенной фауны в процессе формирования почвенного плодородия / Е.И. Симонович // Международный журнал экспериментального образования. – 2013. – № 10 (1). – С. 108–110.*
21. *Prokaryotic and Eukaryotic Microbes: Potential Tools for Detoxification and Bioavailability of Metalloids / N. Garg [et al.] // Metalloids in Plants: Advances and Future / eds. R. Deshmukh, D.K. Tripathi, G. Guerriero. – Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2020. – P. 149–183.*
22. *Cuadros, J. Clay Minerals Interaction with Microorganisms: A Review / J. Cuadros // Clay Minerals. – 2017. – Vol. 52, No. 2. – P. 235–261.*
23. *Van Veen, J.A. Fate and Activity of Microorganisms Introduced into Soil / J.A. Van Veen, L.S. Van Overbeek, J.D. Van Elsas // Microbiology and Molecular Biology Reviews. – 1997. – Vol. 61, No. 2. – P. 121–135.*
24. *Варданян, М.А. Гидрофобизация вспученного перлита синтетическими полимерными материалами и изучение его сорбционных свойств / М.А. Варданян // Вода и экология: проблемы и решения. – 2017. – № 2 (70). – С. 50–59.*
25. *Жабровская, Н.Ю. Влияние агрохимических показателей дерново-подзолистых почв на урожайность овощных культур / Н.Ю. Жабровская // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 2 (61). – С. 152–160.*

УДК 579.695

Роль метаногенных архебактерий в переработке органических отходов в условиях замкнутой экосистемы

Заяц В.С.
Буглак П.А.

ЗАО «Струнные технологии»,
г. Минск, Беларусь

Рассмотрена группа метаногенных бактерий, относящаяся к домену *Archaea* (археи), позволяющая осуществлять полную переработку органических отходов без использования кислорода. Изучено влияние жизнедеятельности метаногенов в закрытой экосистеме: анаэробная переработка органического вещества, усвоение метаболитов-ингибиторов, уменьшение органической массы при её утилизации, а также минимизация возможных негативных эффектов – выделения метана и других газов (углекислого газа, аммиака, сероводорода, водорода). Предложен способ очистки образующихся газов.

Ключевые слова:
архебактерии, метаногенные бактерии, биодеградация отходов, биофильтр, метанотрофы, закрытая экосистема, ЭкоКосмоДом (ЭКД).

Введение

Жить за пределами Земли – сложная задача, для её решения важно построить биорегенеративную систему жизнеобеспечения – замкнутую искусственную экосистему, сформированную на экологических принципах, в которой кислород, вода и основные источники питания перерабатываются с использованием биотехнологий. Следовательно, создание микросреды, аналогичной земной [1], позволило бы решить вопросы систем жизнеобеспечения на космических станциях, а также в герметичных куполах или бункерах для сохранения человеческой популяции в случаях значительного ухудшения экологических параметров окружающей среды, не позволяющих людям открыто существовать на поверхности планеты [2].

Эксперименты по закрытым экосистемам проводились в США («Биосфера-2»), Китае («Лунный дворец-1»), а также в Красноярском институте биофизики бывшего СССР (в настоящее время – Институт биофизики Сибирского отделения РАН). Наиболее успешные результаты получены в Красноярске. Советские учёные разработали экспериментальные комплексы БИОС-1, БИОС-2, БИОС-3, в которых испытуемые смогли прожить более полугода, не потребляя кислород из внешней среды [3]. Весь круговорот кислорода и углекислого газа был зациклен благодаря фотосинтезирующим растениям и водорослям. Кроме того, в закрытой системе восполнялась и потребность в углеводах, воде и кислороде для дыхания. Однако переработка органических отходов осуществлялась физико-химическими методами – растворением в кислоте, минерализацией, нейтрализацией солей, внесением солей в почву для культивирования растений [4]. Для белкового питания экипажа также использовались мясные консервы, запасённые в начале эксперимента.

При создании ЭкоКосмоДома (ЭКД) [2] переработка органических отходов должна проводиться биологическими методами – без использования неприродных технологий. Очевидная проблема закрытых систем жизнеобеспечения – потребление кислорода при аэробном разложении органических отходов. Дело в том, что анаэробное разложение органики (брожение) с точки зрения биотехнологии связано с рядом трудностей, таких как выделение токсичных газов, частая остановка процессов брожения и консервации микроорганизмов вследствие накопления органических кислот и спиртов. Процесс разложения можно ускорить, если в систему внести архебактерии в качестве закваски.

Архебактерии выделяют в отдельное царство по причине того, что у них найдено большое количество отличий от остальных групп микроорганизмов [5, 6]. К археям относят различные виды организмов, способных существовать в экстремальных условиях при предельно высоких показателях температуры (термофилы), pH (ацидофилы), солёности (галофильные бактерии). Помимо этого, археи включают такие виды, как продуцирующие метан (метаногенные) и серовосстанавливающие бактерии [7, 8].

Все известные виды метаногенных бактерий принадлежат данному царству. Они используют в своей жизнедеятельности продукты брожения других бактерий, в результате чего выделяется метан, а также ещё некоторые газы (CO_2, аммиак, сероводород, водород). Благодаря деятельности метаногенных бактерий происходит практически полная переработка органических отходов, образуется перегной без опасных патогенов, плодородный и полезный для растений.

Из отмеченных групп микроорганизмов наибольший практический интерес с точки зрения функционирования ЭКД представляют метаногенные бактерии, позволяющие осуществлять полное бескислородное разложение органических отходов, возникающих в процессе жизнедеятельности человека, животных и растений.

В настоящее время распространение получила технология использования способности микроорганизмов перерабатывать и обезвреживать органические загрязнители в системах очистки сточных вод. В таблице приведены сравнительные характеристики аэробной и анаэробной очистки [9].

Образование метана при анаэробной деградации – сложный процесс, который можно разделить на четыре фазы: гидролиз, ацидогенез, ацетогенез и метаногенез [10]. Этапы деградации осуществляются разными консорциумами, частично находящимися в синтрофической взаимосвязи и предъявляющими определённые требования к окружающей среде. Первую группу микроорганизмов составляют гидролитические бактерии. Они гидролизуют полимерные материалы до мономеров посредством внеклеточных гидролитических ферментов (целлюлазы, ксиланазы, амилазы, протеазы, липазы). Большинство бактерий являются строгими анаэробами; среди них бактериоциды, клостридии и бифидобактерии. Кроме того, задействованы некоторые факультативные анаэробы – *Streptococci* и *Enterobacteriaceae*. Вторая группа микроорганизмов – это ацидогенные бактерии. Они превращают сахара и аминокислоты в углекислый газ, водород, аммиак и другие органические кислоты. В третью группу входят ацетогенные бактерии. Высшие летучие жирные кислоты преобразуются в уксусную кислоту и водород облигатными ацетогенными бактериями. Типичными гомоацетогенными бактериями считаются *Acetobacterium woodii* и *Clostridium aceticum*. В конце процесса разложения две группы метаногенных бактерий производят метан из уксусной кислоты или водорода и диоксида углерода. Эти бактерии являются строгими анаэробами и требуют более низкого окислительно-восстановительного потенциала для роста, чем большинство других анаэробных бактерий. Только немногие виды способны разлагать уксусную кислоту до метана и углекислого газа, например *Methanosarcina barkeri, Methanococcus mazei* и *Methanothrix soehngenii* [11].

Таблица – Сравнение показателей аэробной и анаэробной очистки сточных вод [9]

Аэробный процесс	Анаэробный процесс
Высокие энергетические затраты на аэрацию	Не требуется аэрация (энергопотребление анаэробного процесса в 10 раз ниже, чем аэробного)
Требуется разбавление концентрированных стоков	Возможна очистка высококонцентрированных стоков
Образование значительного количества биомассы активного ила (1–1,5 кг на 1 кг разлагаемых загрязнений)	Небольшой прирост биомассы активного ила (0,1–0,2 кг на 1 кг разлагаемых загрязнений)
Высокое потребление кислорода	Кислород потребляется только на начальных этапах биоразложения из разлагаемого субстрата

Основная цель исследования – изучение наличия архебактерий, при необходимости их внесение в установку по очистке сточных вод, расположенную в коллекторе дома № 12 в Крестьянском (фермерском) хозяйстве «Юницкого» (КФХ «Юницкого) в г. Марьина Горка, а также оценка возможных рисков использования указанной группы микроорганизмов в условиях замкнутой экосистемы. Коллектор дома № 12 создавался как модельная система очистки сточных вод (в дальнейшем запланировано применение опытной конструкции в ЭКД). Данное изыскание позволит изучить возможность создания системы для переработки сточных вод в условиях замкнутой экосистемы.

Описание метода исследования

Культивирование архебактерий

Архебактерии тяжело поддаются лабораторному культивированию, для их внесения в коллектор дома необходимо соорудить особую установку для наработки культуры. Простейшее подобное оборудование можно сконструировать из полимерной герметизируемой бочки на 30–50 л.

Примерная схема показана на рисунке 1. Предварительно следует предусмотреть возможность для действия бактериальной ассоциации, подготавливающей субстрат для метаногенов (окисление, брожение).

В кишечном тракте крупного рогатого скота всегда присутствуют метаногенные микроорганизмы как важная составляющая эндосимбионтов. Именно поэтому экзометаболиты данных животных содержат значительное количество метаногенов. В опытную установку, показанную на рисунке 1, закладывается смесь воды и навоза в соотношении 1 : 1. По окончании протекания анаэробного брожения запускается процесс метаногенеза, который характеризуется бурным выделением биогаза. С этого момента в смеси имеется достаточное количество метаногенных бактерий в активном состоянии и возможно их внесение в резервуар коллектора в качестве инокулята.

Для культивирования архебактерий в установке нужно соблюсти определённые этапы.

1. Выделить микроорганизмы или приобрести в коллекции.

2. Культивировать в условиях, имитирующих окружающую среду [12].

При создании условий необходимо задать параметры окружающей среды, из которой были выделены микроорганизмы. К таким характеристикам относят соответствующие физико-химические показатели, требуемые источники метаболической энергии, питательных веществ и микроэлементов (например, витаминов, органических соединений, жидкостей почвенного выщелачивания или экстракта клеток). Для устранения микробных загрязнителей и повышения эффективности культивирования некоторых архей включаются другие добавки (в частности, специфические антибиотики, такие как канамицин и стрептомицин, подавляющие рост бактерий [13, 14], а также ингибиторы грибков – нистатин или азоксистробин [15, 16]). Все компоненты среды поставляют в соответствующих концентрациях для поддержания наблюдаемого роста во время культивирования.

3. Инкубировать микроорганизмы в изолированной анаэробной камере.

В статье [17] изучено общее количество микроорганизмов коллектора. В настоящее время произведён отбор проб сточной жидкости из дома № 12 в КФХ «Юницкого» для анализа наличия архебактерий. Кроме того, необходимо спланировать создание установки для дальнейшего культивирования данной группы микроорганизмов.

После наработки суспензии метаногенных бактерий её вносят в коллектор дома с целью постановки эксперимента по утилизации сточных вод.

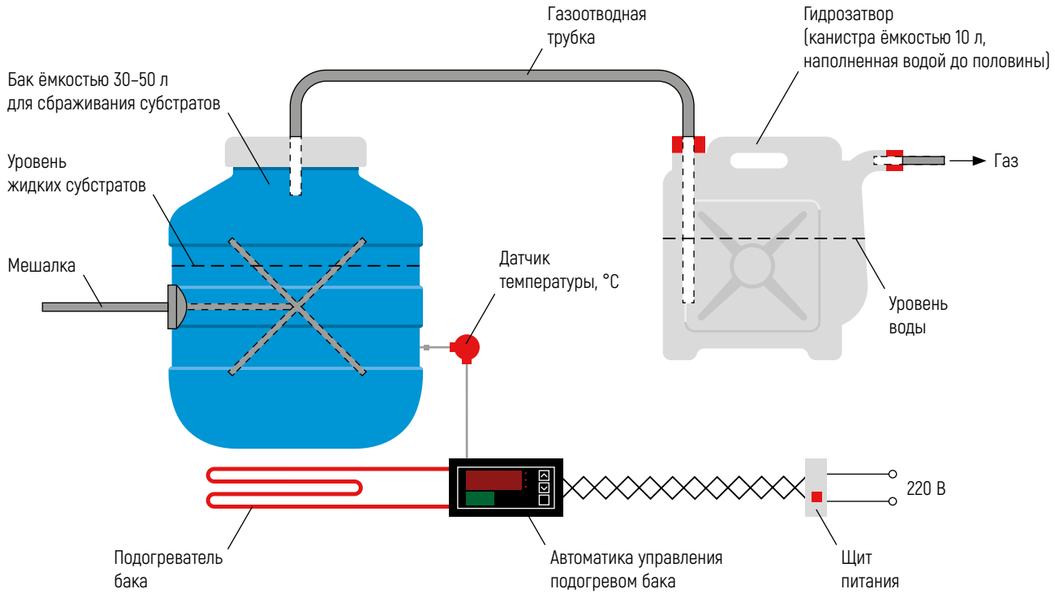


Рисунок 1 – Схема установки для культивирования метаногенных архебактерий

Постановка эксперимента

Эксперимент по жизнедеятельности архебактерий проходит в условиях подземного коллектора (рисунок 2), созданного под домом № 12 на базе КФХ «Юницкого». Подобный тип конструкции можно отнести к установке анаэробной очистки сточных вод. В предыдущем эксперименте на этом же оборудовании определялось общее количество микроорганизмов, обитающих в коллекторе [17].

Данное сооружение представляет собой резервуар со стенками, проницаемыми для корней растений. Основная его роль – сбор стоков из туалетов и кухни дома, а также фильтрация загрязнённой жидкости через слои органики. В коллекторе происходит минерализация веществ (за счёт действия микроорганизмов) и высвобождение макро- и микроэлементов в почву, где они могут поглощаться корнями растений.

Вместе с тем повторный подсчёт общего количества микроорганизмов показал дальнейшее его снижение в образцах с 1×10^7 КОЕ/мл до 1×10^5 КОЕ/мл, что говорит о гибели микроорганизмов вследствие низкого содержания в исследованной воде питательных веществ.

Полученные данные свидетельствуют о вероятном отсутствии метаногенов в резервуаре коллектора. После наработки микроорганизмов в указанной установке планируется их заселение в коллектор дома. Активное размножение и выделение газа наступает на 21-й день. По истечении этого времени будет измеряться биологическое потребление кислорода (БПК), показатели которого предполагается задействовать для оценки интенсивности роста и размножения бактерий и, соответственно, в качестве критерия эффективности очистки сточных вод и разложения органического материала.

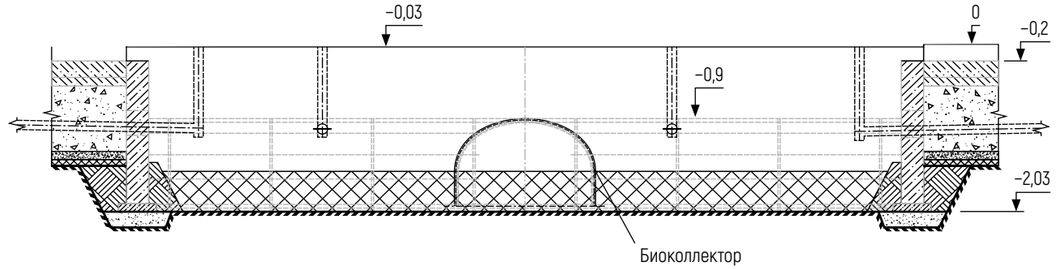


Рисунок 2 – Схема внутридомового биоколлектора [17]

На предыдущих этапах эксперимента начато изучение микробиологических показателей образцов сточной жидкости. Первые результаты продемонстрировали значительное снижение общего количества микроорганизмов в воде, отобранной из коллектора, – в 1000–2000 раз [17]. Такое существенное уменьшение количества бактерий может говорить об очистке воды, так как минерализация органического вещества вследствие его разложения приводит к отсутствию кормовой базы для гнилостных и бродильных бактерий и, как результат, к падению их численности.

При проведении настоящего исследования авторы также отобрали две пробы содержимого коллектора в объёме 3 л для изучения возможного газообразования и подтверждения прохождения процесса метаногенеза при жизнедеятельности микроорганизмов (рисунок 3).

Образцы были оставлены при температуре 20 °С, характерной для сточных вод коллектора. Однако в ходе наблюдения в течение месяца газообразования не отмечалось.

Рисунок 3 – Пробы сточной жидкости из коллектора

Очистка газов от метана биологическими фильтрами

В процессе жизнедеятельности метаногенных бактерий выделяется биогаз, что нежелательно в условиях закрытой биологической системы. Образующийся метан при смешивании с воздухом становится взрывоопасным. Следовательно, важно предусмотреть варианты менее рискованного использования метана. Одним из методов утилизации является применение архебактерий для получения биогаза – экологически чистого, экономичного средства, альтернативного ископаемому топливу. В рамках условий замкнутой экосистемы ЭКД отсутствует необходимость в дополнительной выработке топлива из биогаза, так как рассматривается иной источник энергии (солнечная). В связи с этим в данной статье изучаются другие варианты утилизации образующегося газа.

Если ориентироваться на экологичную и безопасную утилизацию метана, то одним из решений обезвреживания биогаза может стать создание систем улавливания [18]. Наиболее перспективным способом улавливания метана и других биогазов является биологическая фильтрация [19], которая предполагает удаление и уничтожение органических соединений, содержащихся в загрязнённом воздухе (например, летучих органических веществ или пахучих субстанций), и задействование микроорганизмов. Воздушный поток, имеющий органические загрязнители, передаётся через слой биологически активного вещества (основу биофильтра), где загрязнители адсорбируются в биоплёнке, а затем разлагаются специальными бактериями, которые используют загрязняющие вещества в качестве источника углерода и энергии. Важный факт: при разложении загрязняющих веществ и пахучих субстанций образуются, как правило, безвредные продукты, такие как двуокись углерода и вода. Поскольку загрязнители разлагаются, а не просто адсорбируются, то в биофильтре не сохраняются остатки органических соединений, удалённых из загрязнённого воздушного потока (рисунок 4).

В качестве основы биофильтра чаще всего используются смеси, полученные из органического материала: почвы, компоста, торфа, древесных опилок. Иногда применяются синтетические материалы.

Биофильтрацию обычно называют процессом фиксированной плёнки. В большинстве случаев биоплёнку образуют сообщества различных микроорганизмов (бактерии, грибы, дрожжи и др.), макроорганизмов (простейшие, черви, личинки насекомых и др.) и внеклеточных полимерных веществ.

Очищаемую воду можно периодически или непрерывно наносить на фильтр посредством подъёма или опускания. Как правило, биофильтр предполагает две или три фазы:

- твёрдую (среда);
- жидкую (вода);
- газообразную (воздух).

Органическое вещество и другие компоненты из жидкости диффундируют в биофильтр, в котором происходит обработка (в основном путём биодеградации). Активность микроорганизмов является ключевым фактором эффективности процесса. Определённое влияние также оказывают: состав воды, гидравлическая нагрузка биофильтра, тип среды, стратегия питания (просачивание или погружение среды), возраст биоплёнки, температура, аэрация.

Применение биофильтров оправдано, когда существуют проблемы выбросов в атмосферу, связанные с контролем запахов, или выявлены загрязнения летучими органическими соединениями. Очистка газов – одна из главных задач при использовании компостного оборудования, биогазовых станций, очистных сооружений и др.

Эффективность биофильтрации зависит от способности микроорганизмов к биологическому разложению загрязняющих веществ. Очищающая способность биофильтров – 75–99 %. Характер загрязнений определяется набором микроорганизмов, иммобилизованных в биофильтре.

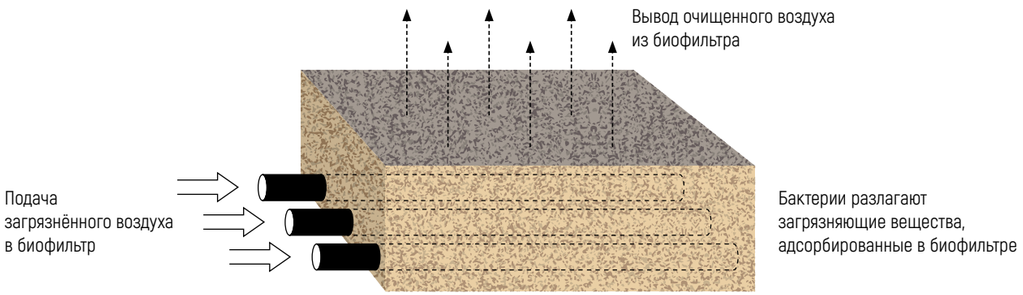


Рисунок 4 – Принцип процесса биофильтрации [19]

При проектировании биофильтров для эффективной работы микроорганизмов крайне важно создать оптимальные условия. Они задаются исходя из особенностей метаболизма выбранных для биофильтрации бактерий. Значимыми параметрами оценки считаются влажность, кислотность, питательные вещества и температура.

Основные преимущества биофильтров – это невысокая стоимость самой установки и низкие эксплуатационные расходы по сравнению с биогазовой установкой.

Наиболее подходящими микроорганизмами, способными поглощать метан в биофильтрах, считаются метанотрофные микроорганизмы. Они представляют собой группу метилотрофов (организмов, использующих одноуглеродные соединения для роста), которые потребляют метан в качестве единственного источника углерода и энергии. Такие организмы являются строго аэробными грамотрицательными бактериями; растут на простых минеральных солях и метане. Включают пять родов: *Methylococcus*, *Methylobacter*, *Methylomonas*, *Methylocystis* и *Methylosinus* [20]. На первом этапе своего метаболического пути данные аэробные организмы используют ферменты метанмоноксигеназа (ММО) для окисления метана до метанола [21]. Скорость поглощения метана почвой с лишайниками, содержащей *Methyloaffinis lahnbergensis,* составляет от –0,4 мг до –0,6 мг CH_4 $м^{-2}сут^{-1}$ [22].

Кроме метанотрофных бактерий некоторые низшие почвенные грибы также могут поглощать метан в процессе своей жизнедеятельности. Метан для гриба *Fusarium solani* – это источник углерода и энергии. Максимальная элиминирующая способность *Fusarium solani* – 42,2 г CH_4 $м^{-3}ч^{-1}$. Существуют биофильтры на основе гриба *Fusarium solani,* а также комбинированные биофильтры *Fusarium solani* с метанотрофными бактериями *Methylomicrobium album* и *Methylocystis sp.* Комбинированные биофильтры показывают более высокую скорость поглощения метана [23].

Планируется проведение эксперимента по изучению потребления метана метанотрофами *Methylomicrobium*, *Methylocystis sp.* совместно с грибом *Fusarium solani* [24]. Полученную биомассу используют в качестве инокулята. Схема устройства лабораторной установки показана на рисунке 5.

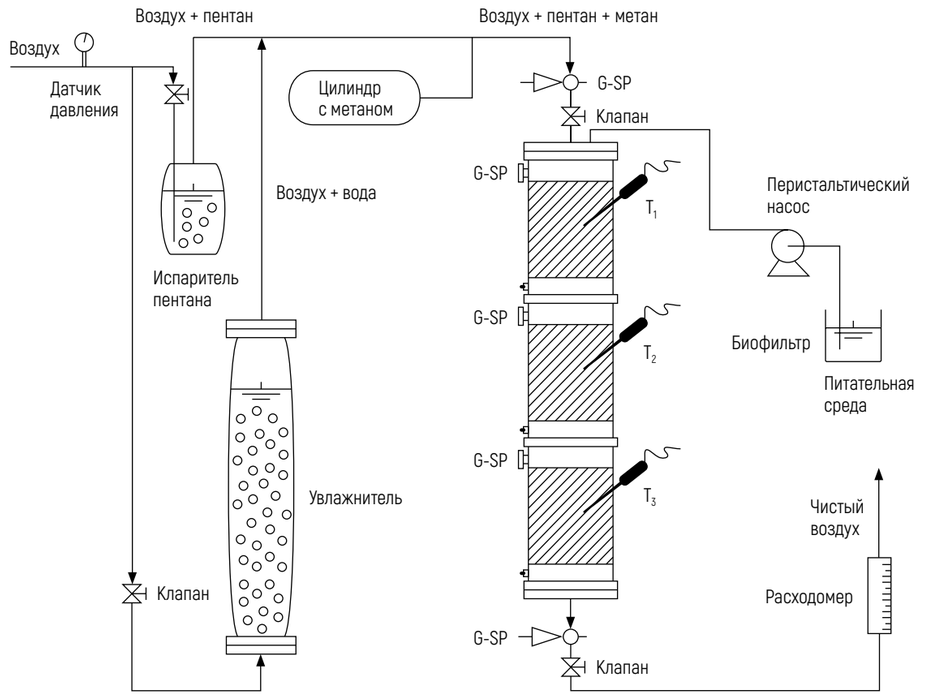
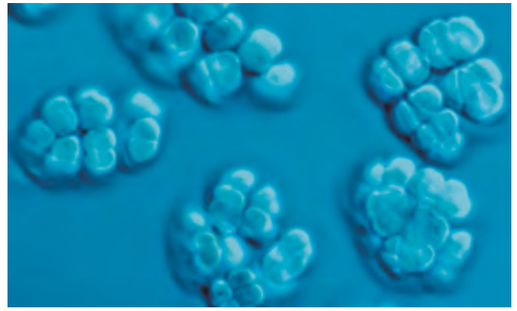
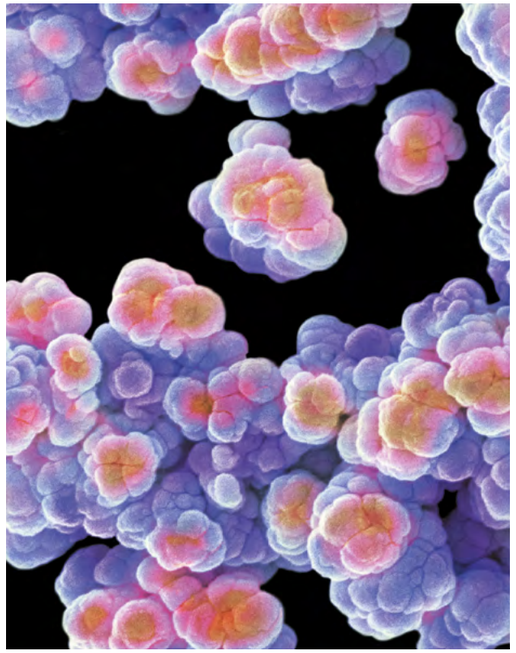


Рисунок 5 – Схема лабораторной установки по изучению удаления метана метанотрофами и грибом *Fusarium solani* [24]:
G-SP – отверстие отбора проб газа; T – термоэлемент (T_1, T_2, T_3)





Предложенный способ очистки совместно с культивированием архебактерий будет применяться сначала в коллекторе дома № 12 в КФХ «Юницкого», а в дальнейшем (при удачных испытаниях) – в ЭКД.

Выводы и дальнейшие направления исследования

Рассмотрена возможность задействования метаногенных архебактерий в переработке органического вещества в условиях ЭКД без потребления кислорода и необходимости затрат энергии и материалов для осуществления процесса минерализации.

Однако жизнедеятельность метаногенов связана с выделением метана, что затрудняет их использование в закрытой системе. Решением данной проблемы может быть установка биофильтров, которые позволяют устранять до 99 % побочных газообразных продуктов, образующихся при анаэробном процессе перегнивания органических веществ. Помимо этого, метан можно рассматривать как исходное сырьё для синтеза метилового спирта.

В коллекторе дома № 12 в КФХ «Юницкого» не обнаружено жизнеспособных архебактерий, поэтому необходимо внесение данной группы метаногенных микроорганизмов извне. Предложено апробировать лабораторную установку для наработки биомассы культуры архей, а также представлена методика очистки выделяемого метана при помощи биофильтра.

В дальнейшем планируется выделить в условиях природы штаммы аэробных микроорганизмов и метанотрофов, способных к элиминации метана и других биологических газов; применить установку для культивирования архебактерий; получить необходимое количество бактерий; провести пролонгированный эксперимент в условиях коллектора дома № 12 с целью изучения выживаемости исследуемой культуры.

Штаммы архебактерий не токсичны для человека, их использование экологично в рамках замкнутой экосистемы, что является приоритетным фактором для ЭКД. Реликтовые архебактерии будут способствовать поддержанию экологического баланса, а также повысят безопасность технологий биопереработки органических отходов.

Для элиминации из системы биогаза (в частности, бóльшую его часть – метан) предлагается дополнительно задействовать биофильтры, позволяющие разложить метан до оксида углерода (IV) и воды. Такой подход поможет избежать отрицательного эффекта от анаэробного разложения органических отходов.

Литература

1. *Establishment of a Closed Artificial Ecosystem to Ensure Human Long-Term Survival on the Moon / Y. Fu [et al.] // bioRxiv. – 2021. – 23 p.*
2. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.: ил.*
3. *Дегерменджи, А.Г. Создание искусственных замкнутых экосистем земного и космического назначения / А.Г. Дегерменджи, А.А. Тихомиров // Вестник Российской академии наук. – 2014. – Т. 84, № 3. – С. 233–240.*
4. *Подсистема физико-химических реакторов минерализации отходов для биолого-технических систем жизнеобеспечения космического назначения / Е.А. Морозов [и др.] // Сибирский журнал науки и технологии. – 2017. – Т. 18, № 3. – С. 585–591.*
5. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. Vol. 5: The Actinobacteria / eds. W.B. Whitman [et al.]. – New York: Springer, 2012. – P. 171–206.*
6. *Cohan, F.M. Systematics: The Cohesive Nature of Bacterial Species Taxa / F.M. Cohan // Current Biology. – 2019. – Vol. 29, No. 5. – P. 169–172.*
7. *Лысак, В.В. Микробиология: учеб. пособие / В.В. Лысак. – Минск: БГУ, 2008. – 343 с.*
8. *Rosselló-Móra, R. Introducing a Digital Protologue: A Timely Move Towards a Database-Driven Systematics of Archaea and Bacteria / R. Rosselló-Móra, M.E. Trujillo, I.C. Sutcliffe // Antonie Van Leeuwenhoek. – 2017. – No. 110. – P. 455–456.*
9. *Пучкова, Т.А. Микробиологическая очистка сточных вод: курс лекций [Электронный ресурс] / Т.А. Пучкова. – Режим доступа: http://www.bio.bsu.by/microbio/files/presentations/puchkova/microbiol_ochistka_vody.pdf. – Дата доступа: 24.03.2021*
10. *Demirel, B. Two-Phase Anaerobic Digestion Processes: A Review / B. Demirel, O. Yenigün // Journal of Chemical Technology & Biotechnology. – 2002. – Vol. 77, No. 7. – P. 743–755.*
11. *Christy, P.M. A Review on Anaerobic Decomposition and Enhancement of Biogas Production Through Enzymes and Microorganisms / P.M. Christy, L.R. Gopinath, D. Divya // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2014. – Vol. 34. – P. 167–173.*
12. *Cultivation of A Thermophilic Ammonia Oxidizing Archaeon Synthesizing Crenarchaeol / J.R. de la Torre [et al.] // Environmental Microbiology. – 2008. – Vol. 10, No. 3. – P. 810–818.*
13. *Cultivation of Autotrophic Ammonia-Oxidizing Archaea from Marine Sediments in Coculture with Sulfur-Oxidizing Bacteria / B.-J. Park [et al.] // Applied and Environmental Microbiology. – 2010. – Vol. 76, No. 22. – P. 7575–7587.*
14. *Cultivation of Mesophilic Soil Crenarchaeotes in Enrichment Cultures from Plant Roots / H.M. Simon [et al.] // Applied and Environmental Microbiology. – 2005. – Vol. 71, No. 8. – P. 4751–4760.*
15. *Modeling of Soil Nitrification Responses to Temperature Reveals Thermodynamic Differences between Ammonia-Oxidizing Activity of Archaea and Bacteria / A.E. Taylor [et al.] // The ISME Journal. – 2017. – Vol. 11, No. 4. – P. 896–904.*
16. *Evidence for Different Contributions of Archaea and Bacteria to the Ammonia-Oxidizing Potential of Diverse Oregon Soils / A.E. Taylor [et al.] // Applied and Environmental Microbiology. – 2010. – Vol. 76, No. 23. – P. 7691–7698.*
17. *Верещак, С.Н. Применение реликтовых архебактерий как потенциальных микробиологических объектов в замкнутых экосистемах / С.Н. Верещак, М.М. Парфенчик // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 12 сент. 2020 г. / Астроинженерные технологии, Струнные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – С. 424–433.*
18. *Чусов, А.Н. Исследования состава биогаза на полигоне твёрдых бытовых отходов / А.Н. Чусов, В.И. Масликов, Д.В. Молодцов // Безопасность в техносфере. – 2013. – Т. 2, № 6. – С. 24–28.*
19. *Способ очистки отходящих газов и биофильтр для его осуществления: пат. RU 2106184 C1 / А.И. Хлытчиев, Р.И. Милькина, Н.В. Лакеев, Б.А. Зимин. – Опубл. 10.03.1998.*
20. *Murrel, J.C. Molecular Ecology of Marine Methanotrophs / J.C. Murrel, A.J. Holmes // Molecular Ecology of Aquatic Microbes. – 1995. – Vol. 38. – P. 365–390.*
21. *Koo, Ch.W. Biochemistry of Aerobic Biological Methane Oxidation / Ch.W. Koo, A.C. Rosenzweig // Chemical Society Reviews. – 2021. – Vol. 50. – P. 3424–3436.*
22. *Methane-Oxidizing Communities in Lichen-Dominated Forested Tundra Are Composed Exclusively of High-Affinity USCα Methanotrophs / S.E. Belova [et al.] // Microorganisms. – 2020. – Vol. 8, No. 12. – P. 20–47.*
23. *Biodegradation of Benzo[a]pyrene, Toluene, and Formaldehyde from the Gas Fhase by a Consortium of Rhodococcus erythropolis and Fusarium solani / A. Vergara-Fernández [et al.] // Applied Microbiology and Biotechnology. – 2017. – Vol. 1, No. 17. – P. 6765–6777.*
24. *A Comparative Assessment of the Performance of Fungal-Bacterial and Fungal Biofilters for Methane Abatement / A. Vergara-Fernández [et al.] // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2020. – Vol. 8, No. 5. – P. 2–8.*

УДК 579.64

Подбор микроорганизмов, способных биодеградировать бурый уголь, с целью дальнейшего их применения в ЭкоКосмоДоме

Произведён подбор микроорганизмов, способных биодеградировать бурый уголь, что ведёт к увеличению содержания в нём биологически активных веществ, которые положительно влияют на рост и развитие растений, – гуминовых кислот. Рассмотрены возможные стадии биодеструкции бурого угля; описаны исследования биомодификации бурого угля при помощи микроорганизмов, обладающих необходимыми ферментными системами для его использования в своей жизнедеятельности. Данные микроорганизмы могут быть задействованы в приготовлении высокоэффективной подкормки для растений – природного гумуса, который получен на основе бурого угля и который планируется применять в ЭкоКосмоДоме (ЭКД). Экспериментально изучена способность бактерий *Acinetobacter pittii, Enterobacter cloacae, Microbacterium sp., Bacillus sp.* и микроскопического гриба *Trametes versicolor* деградировать бурый уголь. Определена интенсивность биодеградации бурого угля в зависимости от его концентрации в питательной среде, типа микроорганизмов и времени проведения опыта. В результате эксперимента получены практические данные, которые свидетельствуют о высокой деструкционной активности микроскопического гриба *Trametes versicolor* и бактерии *Bacillus sp.* в отношении бурого угля.

Зыль Н.С.
Налётов И.В.
Заяц В.С.

ЗАО «Струнные технологии»,
г. Минск, Беларусь

Ключевые слова:
мелиорация пустынь, бурый уголь, гуминовые кислоты, биодеградация, биодеструкция, почвенные микроорганизмы, бактерии, микроскопические грибы, гумус, почва, ЭкоКосмоДом (ЭКД), замкнутая экосистема.

Введение

Бурый уголь образовался около 50 млн лет назад из торфа в процессе метаморфизма (углефикации) и является промежуточным звеном между торфом и каменным углём. Название бурого угля связано с тем, что он оставляет на фарфоровой пластине полосу коричневого цвета (в отличие от каменного угля, который рисует полосу чёрного цвета).

Состав бурого угля можно представить следующим образом:

- гумин – гуминовые вещества, нерастворимые ни в щелочах, ни в щелочном растворе пирофосфата натрия. Основная часть гумина – это растительные остатки высокой молекулярной массы;
- связанные (нерастворимые) гуминовые кислоты – гуминовые вещества, нерастворимые в щелочах, но растворимые в щелочном растворе пирофосфата натрия;
- свободные (растворимые) гуминовые и фульвовые кислоты – гуминовые вещества, растворимые в щелочах. Являются более биологически активными, чем нерастворимые гуминовые вещества;
- широкий спектр насыщенных и ненасыщенных углеводородов;
- растворимые минералы, микроэлементы в биологически доступной форме;
- нерастворимые минералы, микроэлементы в биологически малодоступной форме.

Общее содержание гуминовых кислот в буром угле в среднем составляет около 20–50 %, но в отдельных случаях достигает 86 %. Показатель зольности обычно находится в пределах 5–15 %, встречается также бурый уголь зольностью до 70 % [1]. Органическое вещество бурого угля имеет нерегулярную структуру и включает в себя в том числе ароматические и полимерные фрагменты, которые обуславливают необходимость тщательного подбора микроорганизмов и продуманной организации условий их культивирования для биодеградации бурого угля.

Микробиологический состав бурого угля разнообразен и представлен различными типами микроорганизмов (например, бактерии родов *Bacillus*, *Rhodococcus*, *Arthrobacter*, *Micrococcus*, *Spirillum* и *Cytophaga*, грибы родов *Penicillium* и *Trichoderma*) [2, 3].

В дренажных водах открытого угольного карьера, в котором добывался бурый уголь, также обнаружено большое разнообразие микроорганизмов: грибы семейства *Sporidiobolaceae*, простейшие группы *Alveolata*, *Amoebozoa*, зелёные водоросли рода *Chlamydomonas*, бактерии рода *Acidiphilium*, *Sulfuriferula* и *Thiomonas*. Наличие такого разнообразного микробиома в водах, насыщенных бурым углём, говорит как минимум о его нетоксичности в отношении данных микроорганизмов и теоретической возможности их использования при его биомодификации [4].

В настоящее время бóльшая часть бурого угля применяется в качестве топливного сырья на угольных электростанциях различных типов, а также сырья для химической промышленности и сельского хозяйства. Дымовые выбросы от угольных электростанций и золошлаковые отходы создают экологическую угрозу для многих регионов ввиду неправильного обращения с данными продуктами сжигания бурого угля, которые при рациональном подходе могут быть задействованы в различных областях промышленности, в том числе в строительстве, сельском хозяйстве и др. [5, 6].

В энергетических целях бурый уголь необходимо сжигать без вреда для окружающей среды, перерабатывая все отходы в едином технологическом цикле. В итоге может быть достигнута максимальная экономическая эффективность подобного процесса без негативного влияния на экологию.

Биотехнологические методы являются альтернативным вариантом переработки бурого угля и обладают рядом преимуществ перед физико-химическими способами (в том числе перед сжиганием):

- в качестве сырья возможно также использование некондиционного, окисленного бурого угля, имеющего малую ценность как топливо ввиду невысокой калорийности и значительного содержания мелкой фракции [7, 8]. Не исключено, что биодеградация именно низкой степени метаморфизма более выгодна с экономической точки зрения, так как бурый уголь является менее ценным энергетическим сырьём [9];
- не создают отходов и экологически безопаснее;
- применимы при умеренных температурах и давлении, что снижает требования к оборудованию.

В результате биотехнологической переработки бурого угля могут быть получены гумус (органическое удобрение), биогаз, обессеренный бурый уголь, сорбенты тяжёлых металлов [10]. Производство гумуса из бурого угля видится наиболее перспективным направлением, так как в итоге создаётся ценная подкормка для растений, подпадающая под категорию органических [11].

Гумус, образованный из бурого угля при помощи переработки микроорганизмами (особенно в комбинации с различными видами вторичного сырья – навозом, птичьим помётом, пищевыми отходами), может эффективно использоваться при мелиорации пустынь [12].

Частое внесение большого количества минеральных удобрений способствует ускоренному разложению гумуса, что на начальном этапе даёт значительный рост урожайности – до двух раз. Однако со временем наступает предел увеличения плодородия, и использование минеральных удобрений становится причиной существенного уменьшения производства растительной продукции вследствие разрушения биоценоза почвы [13, 14].

Активное и ненормированное применение агрохимии ведёт к тому, что в почве, а вместе с этим и в сельскохозяйственных культурах накапливаются пестициды, нитраты и другие вредные и отравляющие вещества, которые затем попадают в организм человека [15].

Получаемый из бурого угля при помощи биотехнологии высокоэффективный гумус поможет в существенной мере снизить экологическую нагрузку на природу и сделать сельское хозяйство намного менее зависимым от агрохимикатов.

Цель данного исследования – изучение способности теоретически подобранных микроорганизмов биодеградировать бурый уголь; определение оптимальных условий, необходимых для данного процесса.

Механизм биодеградации бурого угля

Биодеградацию бурого угля можно условно разделить на две стадии:

- солюбилизация бурого угля и перевод его в более биодоступное состояние. Является лимитирующей, так как именно в ходе начальной солюбилизации сложнодеградируемые соединения переходят в растворимое состояние. Это происходит главным образом вследствие деструкции органических полимеров и полиядерных ароматических углеводородов по ферментативному механизму. Кроме того, при солюбилизации бурого угля работают щелочной и хелаторный механизмы, которые переводят более низкомолекулярные соединения в растворимую форму;
- транспортировка и включение растворённых соединений в метаболизм клеток. Продукты первой стадии, представляющие собой более биодоступные фрагменты с меньшим молекулярным весом, вовлекаются в метаболизм микроорганизмов и трансформируются до конечных продуктов.

Известно, что основными ферментами, участвующими в биодеградации угля, являются лигнинпероксидаза, Mn-пероксидаза и лакказа [16].

В случае с микроскопическими грибами клетки мицелия выделяют необходимые ферментные системы, которые воздействуют на субстрат (в данном случае бурый уголь), вызывая его деструкцию. После происходит полное или частичное поглощение продуктов деструкции клетками микроскопического гриба.

Бактерии вырабатывают необходимые для разложения бурого угля ферменты во внешнюю среду и затем, как и грибы, поглощают образовавшиеся экзометаболиты; однако могут использовать и внутриклеточные механизмы деструкции.

Таким образом, для биодеградации бурого угля наиболее перспективным будет применение микроорганизмов, обладающих одним или несколькими ферментами из перечисленных.

Например, исследователями Национального научного центра (Польша) изучалась биосолюбилизация бурого угля при помощи адаптированного микроскопического гриба *Fusarium oxysporum* LOCK 1134. Использовалась жидкая питательная среда с добавлением 5 % бурого угля. Эксперимент проводился в течение 14 дней при перемешивании смеси со скоростью 180 об/мин. В конце биомодификации концентрация биосолюбилизированного бурого угля в данном растворе составила 1474 мг/л. При этом в контрольном опыте солюбилизация не наблюдалась [17].

Группой учёных из Академии Финляндии анализировались особенности выработки ферментов гриба *Phlebia radiata* при биодеградации искусственно полученного бурого угля. В данных исследованиях максимальная активность ферментов гриба отмечена при минимальной концентрации марганца в питательной среде (без его добавления), а степень минерализации субстрата составила 30 % за 18 дней. Культивирование проводилось при 28 °С на твёрдой питательной среде с недостатком азота [18].

В Институте химии и химической технологии Сибирского отделения Российской академии наук проводилась биодеструкция бурого угля в аэробных условиях при помощи адаптированных к бурому углю бактерий *Acinetobacter calcoaceticus* ВКПМ В-4833. В результате содержание свободных гуминовых кислот повышалось на 22,9–30,6 % по сравнению с исходным субстратом. В биомодифицированном субстрате обнаружены признаки наличия поверхностно активных веществ, не относящихся к гуминовым кислотам. Процесс культивирования занял 10–60 ч и проходил при температуре 29–30 °С; использовались аэрация и перемешивание; концентрация бурого угля в жидком субстрате составляла 20 % [7].

В другом эксперименте учёными Института биохимии им. А.Н. Баха Российской академии наук изучалась трансформация гуминовых веществ базидиальными грибами и *Trametes hirsuta*, *Trametes maxima*. Грибы выращивали в течение 30 суток при 28 °С и влажности 80–90 % на твёрдой минеральной питательной среде; концентрация высокоокисленного бурого угля – около 2,7 % по массе. В ходе данного опыта отмечено разрыхление поверхности частиц бурого угля, что является прямым свидетельством его биодеградации [19].

Материалы и методы эксперимента

Для настоящего исследования отобраны микроскопический гриб *Trametes versicolor* и бактерии *Acinetobacter pittii*, *Enterobacter cloacae*, *Microbacterium sp.*, *Bacillus sp.*, обладающие необходимыми ферментными системами и/или агрономически ценными функциями, такими как фиксация азота, фосфатсолюбилизация и др.

Проведено два эксперимента. В одном определялась активность биодеструкции бурого угля бактериями видов *Acinetobacter pittii*, *Enterobacter cloacae*, *Microbacterium sp.*, *Bacillus sp.*, во втором – анализировалась способность к биодеструкции бурого угля микроскопического гриба *Trametes versicolor* индивидуально и совместно с бактериями *Bacillus sp.*

Эксперимент № 1

Для определения деструктивной активности в отношении бурого угля бактерий *Acinetobacter pittii*, *Enterobacter cloacae*, *Microbacterium sp.*, *Bacillus sp.* использована минеральная среда с добавлением различных концентраций бурого угля (рисунок 1). В качестве положительного контроля (предполагается максимальный рост микроорганизмов) выступала минеральная среда с добавлением 10 % пивного сусла. Колбы после засева закрывались ватно-марлевыми пробками и устанавливались на орбитальный шейкер, в котором при включённом перемешивании со скоростью 120 об/мин происходило культивирование выбранных микроорганизмов на питательных средах с различными концентрациями бурого угля. В начале, середине и конце опыта выявлялось общее микробное число (ОМЧ); исходя из данного показателя, сделан вывод о деструктивной активности микроорганизмов в отношении бурого угля.

Состав экспериментальных питательных сред:

- среда № 1 (KH_2PO_4 – 0,9 г/л; K_2HPO_4 – 1,74 г/л; $MgSO_4 \times 7H_2O$ – 0,3 г/л; NaCl – 0,5 г/л; $CaCl_2$ – 0,1 г/л) – контроль;
- среда № 1 + 0,5 % бурого угля;
- среда № 1 + 1 % бурого угля;
- среда № 1 + 2 % бурого угля;
- среда № 1 + 2,5 % бурого угля;
- среда № 1 + 5 % бурого угля;
- среда № 1 + 10 % пивного сусла – положительный контроль.

Объём экспериментальных сред – 1 л.

В ходе опыта контролировалось ОМЧ. Его подсчёт производился в начальной, промежуточной и конечной точках исследования (таблица).

Рисунок 1 – Экспериментальные колбы с бурым углём

Таблица – ОМЧ деструкторов бурого угля в зависимости от времени и концентрации бурого угля

Микроорганизм и среда	ОМЧ 04.01.2021	ОМЧ 11.01.2021	ОМЧ 18.02.2021
Acinetobacter pittii			
Среда № 1	$2,5 \times 10^8$	1×10^7	1×10^6
Среда № 1 + 0,5 % бурого угля	$2,5 \times 10^8$	1×10^7	1×10^9
Среда № 1 + 1 % бурого угля	$2,5 \times 10^8$	1×10^7	1×10^9
Среда № 1 + 2 % бурого угля	$2,5 \times 10^8$	1×10^7	1×10^9
Среда № 1 + 2,5 % бурого угля	$2,5 \times 10^8$	1×10^8	1×10^{10}
Среда № 1 + 5 % бурого угля	$2,5 \times 10^8$	1×10^8	1×10^{10}
Среда № 1 + 10 % пивного сусла	$2,5 \times 10^8$	1×10^8	$1,5 \times 10^{12}$
Enterobacter cloacae			
Среда № 1	1×10^{10}	1×10^9	5×10^9
Среда № 1 + 0,5 % бурого угля	1×10^{10}	1×10^9	5×10^{10}
Среда № 1 + 1 % бурого угля	1×10^{10}	2×10^9	$1,5 \times 10^{12}$
Среда № 1 + 2 % бурого угля	1×10^{10}	1×10^9	1×10^{10}
Среда № 1 + 2,5 % бурого угля	1×10^{10}	1×10^9	1×10^9
Среда № 1 + 5 % бурого угля	1×10^{10}	5×10^9	5×10^9
Среда № 1 + 10 % пивного сусла	1×10^{10}	2×10^9	2×10^9
Microbacterium sp.			
Среда № 1	1×10^9	1×10^8	5×10^7
Среда № 1 + 0,5 % бурого угля	1×10^9	1×10^9	1×10^{10}
Среда № 1 + 1 % бурого угля	1×10^9	1×10^9	$2,5 \times 10^{11}$
Среда № 1 + 2 % бурого угля	1×10^9	3×10^9	1×10^{12}
Среда № 1 + 2,5 % бурого угля	1×10^9	1×10^{10}	1×10^{10}
Среда № 1 + 5 % бурого угля	1×10^9	5×10^9	$7,5 \times 10^{11}$
Среда № 1 + 10 % пивного сусла	1×10^9	3×10^9	$1,5 \times 10^{11}$
Bacillus sp.			
Среда № 1	1×10^8	2×10^8	1×10^{10}
Среда № 1 + 0,5 % бурого угля	1×10^8	1×10^9	5×10^{10}
Среда № 1 + 1 % бурого угля	1×10^8	1×10^9	8×10^{11}
Среда № 1 + 2 % бурого угля	1×10^8	1×10^9	1×10^{12}
Среда № 1 + 2,5 % бурого угля	1×10^8	1×10^9	3×10^{12}
Среда № 1 + 5 % бурого угля	1×10^8	1×10^{10}	5×10^{12}
Среда № 1 + 10 % пивного сусла	1×10^8	2×10^9	2×10^{11}

Как видно из данных, представленных в таблице, количество микроорганизмов в культурах *Acinetobacter pittii*, *Enterobacter cloacae*, *Microbacterium sp.*, *Bacillus sp.* после инкубирования в средах с бурым углём в большинстве случаев увеличилось на 1–3 порядка по сравнению с первоначальным количеством, внесённым в пустую минеральную среду. Это может говорить об использовании микроорганизмами органических соединений бурого угля в качестве источника углерода и других элементов питания и, следовательно, о деструкции ими бурого угля. Наибольший прирост биомассы показала культура *Bacillus sp.*, наименьший – *Acinetobacter pittii*.

Измеренное количество микроорганизмов закономерно отличается в среднем в 10–500 раз при сравнении образца бурого угля с наибольшей концентрацией в питательной среде (5 %) с образцом с наименьшей концентрацией (0,5 %).

ОМЧ *Acinetobacter pittii* и *Enterobacter cloacae* сначала снизилось в промежуточной точке контроля, но к концу опыта возросло, что объясняется нетипичными условиями культивирования этих микроорганизмов, которые потребовали соответствующего времени на адаптацию. Аналогичную картину, вероятно, можно было бы наблюдать и с бактериями *Microbacterium sp.* и *Bacillus sp.*, однако их адаптация могла бы произойти значительно быстрее.

При культивировании *Enterobacter cloacae* максимальное ОМЧ зафиксировано при концентрации бурого угля около 1 %. Очевидно, это вызвано наличием в буром угле веществ, замедляющих развитие данных микроорганизмов в определённых условиях. При концентрации 5 % ОМЧ *Enterobacter cloacae* несколько выше, чем при 2,5 %, что является признаком быстрой адаптации микроорганизмов по причине более интенсивного воздействия на них различных соединений, входящих в состав бурого угля. Схожий результат наблюдается и при выращивании бактерии *Microbacterium sp.*, но здесь предельная концентрация приходится на образец, содержащий 2 % бурого угля.

ОМЧ *Enterobacter cloacae* и *Bacillus sp.* на питательной среде, содержащей 5 % бурого угля, составляет 5×10^9 и 5×10^{12}, что выше, чем при выращивании с применением пивного сусла – 2×10^9 и 2×10^{11} соответственно. Это может говорить об их эффективности при биодеградации бурого угля даже при наличии в составе питательной среды сахаров или о том, что максимум роста пройден и наступила стадия отмирания.

В целом полученные данные свидетельствуют о достаточно продуктивном росте испытанных микроорганизмов на среде с бурым углём и, как следствие, о деструкции угля микроорганизмами при использовании его в качестве источника питания.

Эксперимент № 2

Опыт проводился для определения на практике деструктивной активности в отношении бурого угля микроскопического гриба *Trametes versicolor*. Кроме того, исследовалась деструкция бурого угля грибом *Trametes versicolor* и бактериями *Bacillus sp.* при их совместном культивировании в одной питательной среде, так как *Bacillus sp.* показали наилучший рост в эксперименте № 1 и, являясь азотфиксаторами, они могут продуцировать дополнительный источник азота, необходимый для роста и развития микроскопического гриба.

В эксперименте использована минеральная среда с добавлением различных концентраций бурого угля, а также среда Сабуро в качестве положительного контроля. Колбы после засева закрывались ватно-марлевыми пробками и устанавливались на орбитальный шейкер, в котором при включённом перемешивании со скоростью 120 об/мин происходило культивирование выбранных микроорганизмов на питательных средах с различными концентрациями бурого угля. Длительность исследования составила шесть недель.

Состав экспериментальных питательных сред:

- среда № 1 (KH_2PO_4 – 0,9 г/л; K_2HPO_4 – 1,74 г/л; $MgSO_4 \times 7H_2O$ – 0,3 г/л; NaCl – 0,5 г/л; $CaCl_2$ – 0,1 г/л) – контроль;
- среда № 1 + 5 % бурого угля;
- среда № 1 + 10 % бурого угля;
- среда № 1 + 20 % бурого угля;
- среда № 1 + 50 % бурого угля;
- среда Сабуро – положительный контроль.

В ходе эксперимента измерены:

- количество гуминовых кислот в буром угле питательной среды до и после культивирования (рисунок 2) [20];
- ОМЧ до и после культивирования. Устанавливалось методом определения количества мезофильных аэробных и факультативных анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) на твёрдой питательной среде [21].

Результаты измерения ОМЧ: во всех образцах количество бактерий на начало опыта составляло 1×10^7, а по его окончании колебалось в пределах $1{,}1–1{,}2 \times 10^7$, что говорит о возможном подавлении роста *Bacillus sp.* микроскопическим грибом *Trametes versicolor*, так как при схожих условиях культивирования (эксперимент № 1) бактерии *Bacillus sp.* росли намного активнее.

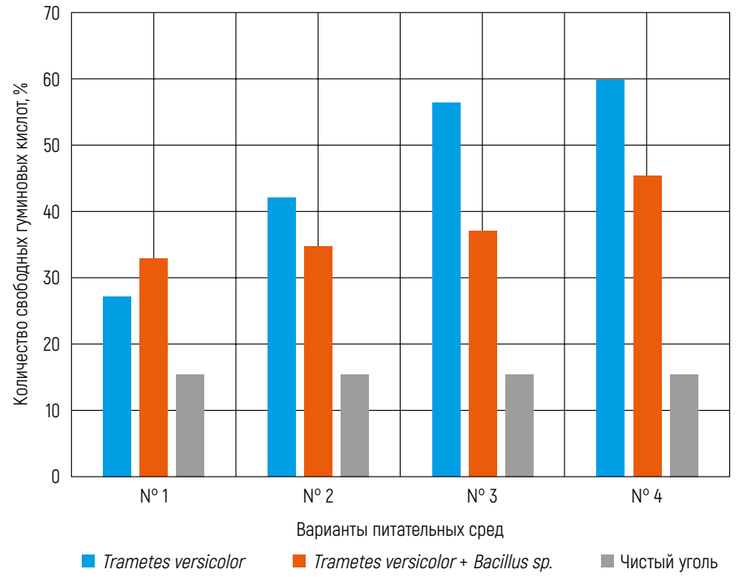


Рисунок 2 – Количество гуминовых кислот в образцах и исходном буром угле
(содержание бурого угля в питательных средах № 1 – 50 г/л; № 2 – 100 г/л; № 3 – 200 г/л; № 4 – 500 г/л)

Выводы и дальнейшие направления исследования

Биодеградация бурого угля – актуальная научная задача. Посредством данного процесса можно получить различные виды промышленных продуктов (гумус или органические удобрения, биогаз, обессеренный бурый уголь, сорбенты). Технологии биодеградации бурого угля экологически безопасны, однако требуют тщательного подбора микроорганизмов и условий культивирования.

Лимитирующей стадией биодеградации бурого угля является его солюбилизация по механизму ферментативного расщепления труднодеградируемых органических соединений (полиядерных ароматических углеводородов, полимерных структур), входящих в его состав.

На способность к биодеградации бурого угля протестированы микроорганизмы, обладающие подходящими ферментными системами: микроскопический гриб *Trametes versicolor*, бактерии *Acinetobacter pittii*, *Enterobacter cloacae*, *Microbacterium sp.*, *Bacillus sp.* Из исследованных бактерий наиболее активный рост на среде с бурым углём показала *Bacillus sp.*, ОМЧ которой увеличилось с 1×10^8 до 5×10^{12} за две недели культивирования на минеральной среде с добавлением 5 % бурого угля, что делает её перспективной в качестве бактерии-деструктора бурого угля.

В процессе выращивания микроскопического гриба *Trametes versicolor* на минеральной среде, включающей бурый уголь в количестве 50 % (500 г/л), концентрация свободных гуминовых кислот в буром угле возросла более чем в три раза (анализы на содержание свободных гуминовых кислот образцов бурого угля после биодеградации проводились несколько раз для исключения технической ошибки).

Полученные данные, демонстрирующие многократный прирост свободных гуминовых кислот, делают микроскопический гриб *Trametes versicolor* перспективным в качестве микроорганизма-деструктора бурого угля и потому требуют дополнительных исследований.

Учитывая крайне незначительный прирост бактерий *Bacillus sp.* при их культивировании с микроскопическим грибом *Trametes versicolor*, можно сделать вывод, что *Trametes versicolor* подавляет рост *Bacillus sp.*, значит, их совместное разведение нецелесообразно.

В дальнейшем планируется провести более углублённое теоретическое и практическое изучение биодеградации бурого угля при помощи микроскопического гриба *Trametes versicolor* и других микроорганизмов (в том числе водорослей и простейших) и проанализировать влияние полученного гумуса на рост и развитие растений.

Литература

1. *Пурыгин, П.П. Гуминовые кислоты: их выделение, структура и применение в биологии, химии и медицине / П.П. Пурыгин, И.А. Потапова, Д.В. Воробьёв // Актуальные проблемы биологии, химии и медицины. – Одесса: С.В. Куприенко, 2014. – С. 180–196.*
2. *Буланкина, М.А. Микроорганизмы бурого угля / М.А. Буланкина, Л.В. Лысак, Д.Г. Звягинцев // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. – 2007. – № 2. – С. 239–243.*
3. *Акимбеков, Н. Скрининг микроорганизмов, обладающих высокой солюбилизирующей активностью в отношении бурого угля Казахстана / Н. Акимбеков, А. Журбанова // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2019. – № 8. – С. 7–10.*
4. *Разнообразие эукариотических микроорганизмов в дренажных водах открытого угольного карьера / Е.В. Груздев [и др.] // Микробиология. – 2020. – Т. 89, № 5. – С. 623–628.*
5. *Исхаков, Х.А. Зола уноса – сырьё для производства тротуарной плитки / Х.А. Исхаков, А.Р. Богомолов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2010. – № 3 (79). – С. 98–100.*
6. *Исхаков, Х.А. Зола как почвенный субстрат / Х.А. Исхаков, М.М. Колосова, Г.Г. Котова // Проблемы обеспечения экологической безопасности в Кузбасском регионе: сб. ст.: в 3 кн. – Кемерово: КузГТУ, 2005. – Кн. 3. – С. 60–62.*
7. *Аэробная переработка бурого угля штаммом Acinetobacter calcoaceticus / И.П. Иванов [и др.] // Журнал Сибирского федерального университета. Химия. – 2014. – Т. 7, № 2. – С. 209–220.*
8. *Фоменко, Н.А. Применение окисленных бурых углей для повышения экологической безопасности утилизации золошлаковых отходов: дис. … канд. техн. наук: 25.00.36 / Н.А. Фоменко. – М., 2019. – 110 л.*
9. *Schmiers, H. Macromolecular Structure of Brown Coal in Relationship to the Degradability by Microorganisms / H. Schmiers, R. Köpsel // Fuel Processing Technology. – 1997. – Vol. 52, No. 1. – P. 109–114.*
10. *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. / Астроинженерные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 179–183.*
11. *Перечень средств, веществ, разрешённых к применению в растениеводстве при производстве органической продукции; кормовых добавок, микроэлементов, разрешённых для кормления животных при производстве органической продукции; разрешённых к применению при производстве органической продукции веществ или сочетаний нескольких веществ растительного, животного, микробиологического происхождения, обладающих фармакологической или биологической активностью, для осуществления ветеринарных мероприятий [Электронный ресурс]: постановление М-ва сельск. хозва и продовольствия Респ. Беларусь., 15 марта 2019 г., № 19 // Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. – Режим доступа: https://mshp.gov.by/documents/plant/f2033de503c71223.html. – Дата доступа: 02.04.2021.*
12. *Abdel-Ghaffar, A.S. Aspects of Microbial Activities and Dinitrogen Fixation in Egyptian Desert Soils / A.S. Abdel-Ghaffar // Arid Soil Research and Rehabilitation. – 1989. – Vol. 3, No. 2. – P. 281–294.*
13. *Филон, В.И. Исследование природы гумусовых веществ, подверженных непосредственному воздействию минеральных удобрений / В.И. Филон // Агрохимия. – 2004. – № 8. – С. 61–65.*
14. *Zaker, M. Natural Plant Products as Eco-Friendly Fungicides for Plant Diseases Control – A Review / M. Zaker // The Agriculturists. – 2016. – № 14 (1). – С. 134–141.*
15. *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. / Астроинженерные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 51–57.*
16. *Sekhohola, L.M. Biological Degradation and Solubilisation of Coal / L.M. Sekhohola, E.E. Igbinigie, A.K. Cowan // Biodegradation. – 2013. – No. 24. – P. 305–318.*
17. *Improvement of Efficiency of Brown Coal Biosolubilization by Novel Recombinant Fusarium oxysporum Laccase / N. Kwiatos [et al.] // AMB Express. – 2018. – No. 8. –P. 133.*
18. *Manganese and Malonate Are Individual Regulators for the Production of Lignin and Manganese Peroxidase Isozymes and in the Degradation of Lignin by Phlebia radiata / A.M. Moilanen [et al.] // Applied Microbiology and Biotechnology. – 1996. – Vol. 45, No. 6. – P. 792–799.*
19. *Трансформация гуминовых веществ высокоокисленного бурого угля базидиальными грибами Trametes hirsuta и Trametes maxima / О.И. Кляйн [и др.] // Прикладная биохимия и микробиология. – 2013. – Т. 49, № 3. – С. 292.*
20. *Топливо твёрдое. Методы определения выхода гуминовых кислот: ГОСТ 9517-94. – Взамен ГОСТ 9517-76; введ. 01.01.1997. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1996. – 9 с.*
21. *Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов: ГОСТ 10444.15-94. – Взамен ГОСТ 10444.15-75; введ. 01.01.1996. – М.: Стандартинформ, 2010. – С. 313–316.*

УДК 621:622

Снижение экологической нагрузки на окружающую среду при использовании бурого угля за счёт его глубокой переработки

Юницкий А.Э.[1,2]
Василевич В.В.[2]
Арнаут С.А.[2]
Францкевич А.В.[2]

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

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

Рассмотрены некоторые аспекты разделения бурого угля на производные с использованием электрогидроударной технологии диспергирования материалов. Полученная в результате водоугольная пульпа применяется в дальнейшем как базовый материал (сырьё) при изготовлении продукции, востребованной в энергетике и сельском хозяйстве, – водоугольного топлива, жидких удобрений на основе гуминовых кислот. Разделение бурого угля на составляющие (водорастворимую органическую часть и диспергированную неорганическую часть), выполненное на первом этапе его переработки, позволяет в конечном итоге достичь снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду.

Ключевые слова:
бурый уголь, электрогидроударная установка, водоугольное топливо, диспергирование и экстрагирование угля, гуминовые вещества.

Введение

В программе «ЭкоМир» приводится обоснование необходимости решения глобальных техногенных проблем, возникших в результате деятельности человека [1]. Для этого требуется организовать производство экологически чистых продуктов питания (uGreen); экоориентированное строительство зданий и сооружений для жизни и деятельности (EcoHouse); генерацию экологически чистой энергии и тепла (uEnergy); эксплуатацию экоориентированного транспорта (ЮСТ, англ. – uST); вынесение вредной индустрии в ближний космос (uSpace) [2].

Авторы статьи предлагают разработку, которая позволит использовать полученную продукцию в рамках развития uGreen и uEnergy. Научная суть исследования – глубокое разделение бурого угля на производные посредством электрогидроударной технологии диспергирования материалов.

Электрогидроударные технологии в диспергировании бурого угля

Бурый уголь – твёрдая горючая осадочная порода растительного (частично животного) происхождения, образовавшаяся в процессе биохимических, физико-химических и физических изменений. Является переходным звеном между торфом и каменным углём [3]. Бурый уголь как результат метаморфизма растительного мира или биомассы имеет сложное строение [4]. Условно он содержит органическую и неорганическую составляющие.

Органическая часть угля зависит от конкретного месторождения, однако всегда включает гуматы [5]. Производимые на их основе гуминовые препараты широко используются в сельском хозяйстве в роли стимуляторов роста растений, антиоксидантов, сорбентов тяжёлых металлов, что положительно сказывается на экологии [6–9]. Неорганическая часть угля (кроме углерода) также включает в себя целый набор химических элементов и их оксидов [10].

В последние десятилетия, несмотря на значительные успехи в развитии альтернативных, или «зелёных», методов получения энергии, такой традиционный способ извлечения тепла и энергии, как сжигание газа, мазута, угля, не сдаёт своих позиций. Данные о количестве энергии представлены на рисунке 1 (адаптированы из [11]).

Графики, характеризующие будущий спрос (рисунок 1), построены с учётом двух сценариев, которые были намечены Международным энергетическим агентством (International Energy Agency, IEA) и анонсированы в ежегодном прогнозе мировой энергетики за 2020 г. Сценарий заявленной политики (STEPS) обозначен сплошными линиями. Сценарий устойчивого развития (SDS) отмечен пунктирными линиями. Другие возобновляемые источники энергии включают солнечную, ветровую, геотермальную и морскую энергию [11].

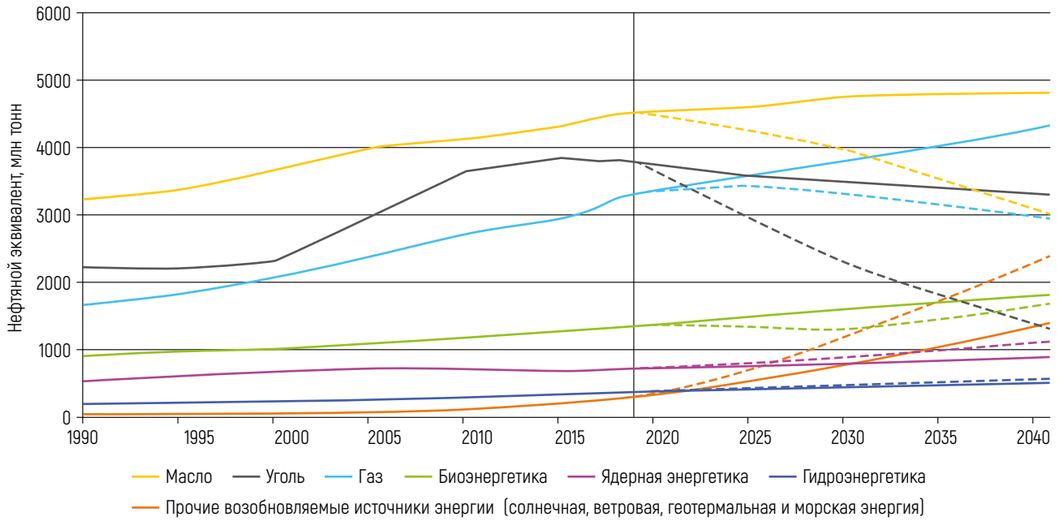


Рисунок 1 – Мировой спрос на первичную энергию в пересчёте на топливо (1990–2040 гг.)

Несмотря на то что разведанные запасы угля (бурый уголь составляет 50 %) в несколько раз превосходят открытые совокупные запасы нефти и газа (в энергетическом эквиваленте в три раза), доля угля в мировом производстве энергии, как видно из представленных на рисунке 1 данных, занимает значительно более скромное место, чем использование нефти и газа [12].

При добыче и сжигании бурого угля возникает ряд факторов, которые ухудшают локальную и глобальную экологическую ситуацию:

- отвалы горной массы в виде захоронений из-за высокого коэффициента вскрыши (показатель отношения объёма пустых пород к количеству полезного ископаемого [13]);
- выбросы оксида углерода (IV) (CO_2);
- кислотные дожди, причиной возникновения которых являются выбросы диоксида серы (SO_2) и оксидов азота (NO, NO_2, N_2O_3);
- выбросы твёрдых частиц (сажи), образующихся при неполном сжигании угля;
- формирование шлакоотвалов из-за высокой зольности бурого угля (их последующее использование зачастую проблематично вследствие отсутствия экологически приемлемых технологий переработки, а также токсичности и радиоактивности).

Поскольку бурый уголь является самым дешёвым топливом [14], есть экономический резерв не только для увеличения эффективности его применения (создание новых технологий), но и для решения экологических вопросов и достижения уровня воздействия на окружающую среду, не превосходящего таких значений, как, например, при сжигании газа.

Повышение эффективности и преодоление экологических проблем достигается благодаря определённым технологическим процессам, которые реализуются на следующих этапах:

- подготовка топлива для сжигания;
- сжигание топлива;
- фильтрация и очистка продуктов горения.

В данном отношении перспективной представляется технология, обеспечивающая результат сразу на двух стадиях:

- подготовка топлива;
- фильтрация, очистка и поглощение продуктов горения.

Технически реализовать решение таких, казалось бы, разноплановых проблем возможно с помощью электрогидроударной установки, позволяющей наряду с диспергированием бурого угля производить экстрагирование из него гуминовых веществ.

Диспергированный уголь – основа водоугольного топлива (ВУТ). В научно-технической литературе детально описана экологическая и экономическая выгода от его сжигания по сравнению с процессом сжигания кускового угля.

Экстрагированные физическим способом из бурого угля гуматы – база для производства экологически чистых гуминовых препаратов. Экономический и экологический эффект от их применения в сельском хозяйстве также подробно показан в исследовательских работах.

Преимущества сжигания ВУТ:

- существенное уменьшение выбросов закиси азота, серы;
- выгорание углерода – 99,5 % (для сравнения: при сгорании кускового угля – 70 % [4, 10]);
- снижение практически на треть количества золы;
- возможность задействования в энергетике мелкодисперсного угля, который в большинстве случаев идёт в отвалы и значительно ухудшает экологию в местах добычи из-за своей летучести.

Преимущества использования гуминовых препаратов:

- увеличение скорости роста зелёной биомассы и, соответственно, повышение количества связуемой окиси углерода;
- благоприятное влияние леса и другой растительности на температурные колебания и влажность земной атмосферы. Рост биомассы флоры требует затрат энергии, получаемой из окружающей среды. Это ведёт к снижению температурных колебаний «день/ночь» и уменьшению испарения влаги из почвы, что оказывает положительный эффект на сельское хозяйство и планетарную экологию в целом;
- сокращение количества внесения неэкологичных минеральных удобрений, предназначенных для ускорения роста сельскохозяйственных культур.

Тема применения электрогидроударных установок только для экстрагирования веществ [5, 15–17] или диспергирования угля [18–21] не нова. Однако, насколько известно авторам статьи, нигде не рассматривался процесс совместного диспергирования и экстрагирования. Одновременное проведение данных технологических операций позволяет получить более весомый экологический и экономический эффект.

Результаты

Для решения поставленных задач была спроектирована и изготовлена лабораторная электрогидроударная установка UniThorr (рисунок 2), функционирование которой построено на основе электрогидравлического эффекта [22].

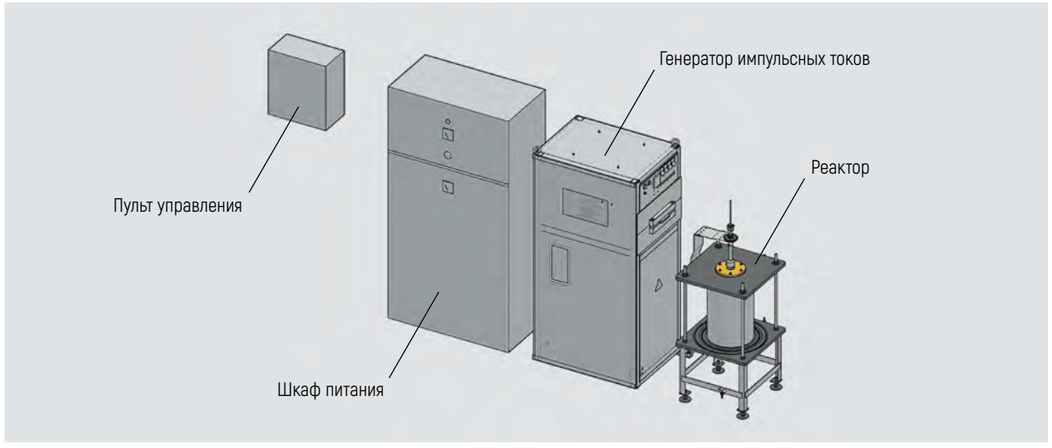


Рисунок 2 – Общий вид электрогидроударной установки UniThorr

Авторами исследовались возможности установки UniThorr по диспергированию угля [18] при производстве экологически чистых высокоплодородных почв UniTerra (uTerra), а также ВУТ. Изучались процессы экстрагирования из бурого угля водорастворимых гуматов. В лабораторных условиях проверялась применимость полученного продукта (твёрдой и жидкой фракций водоугольной пульпы) в соответствующих областях. Для определения крупности зёрен использовался фракционный рассев. Анализ содержания органической составляющей проводился методом перманганатной окисляемости.

На рисунке 2 представлены основные элементы установки UniThorr. Её технические характеристики указаны в таблице.

Таблица – Основные технические характеристики электрогидроударной установки UniThorr

Характеристика	Значение
Питающее напряжение, В	220
Рабочее напряжение, кВ	50
Энергия в импульсе, Дж	150
Потребляемая электрическая мощность, Вт	600

На представленной установке обработано значительное количество проб водоугольной смеси в дискретном режиме с различными соотношениями угля и воды, величинами межэлектродного зазора. Цель проведённых исследований – получение оптимальных технологических параметров электрогидроударной обработки бурого угля. Задача данного процесса – достижение максимальной производительности и наилучшего качества при диспергировании угля. Требования к конечному размеру фракций угля формировались как требованиями к сырью, из которого производится ВУТ [5, 15], так и условиями, при которых происходит наиболее быстрое экстрагирование гуматов.

Результат проведённых экспериментов – установление ряда тенденций и закономерностей.

Для достижения наилучшего диспергирования определены оптимальные параметры:

- массовое соотношение между углём и водой;
- зазор между электродами.

Отмечено влияние следующих факторов:

- объёма загруженного угля на скорость его диспергирования;
- количества мелкодисперсной фракции на скорость диспергирования;
- неорганических примесей на скорость диспергирования;
- посторонних примесей на работоспособность установки (в сравнении с системами мокрого механического измельчения) [23].

В ходе обработки водоугольной пульпы через различное время производился отбор проб (жидкой составляющей с содержащейся в ней органикой), для которых методом определения перманганатной окисляемости (ГОСТ Р 55684-2013 (ИСО 8467:1993), способ Б) изучалась динамика изменения содержания органического компонента.

Выявлено: с увеличением длительности обработки перманганатная окисляемость снижается, что может объясняться воздействием озона (генерируемого при функционировании установки), которое приводит к окислению и разложению органики. Заметим, озонирование воды – достаточно известный способ её очистки от органических примесей [9].

Выводы и дальнейшие направления исследования

Проанализирована возможность снижения экологической нагрузки, возникающей при использовании бурого угля в производстве в результате его комплексной переработки. Представленный в статье способ предполагает разделение угля на органическую и неорганическую составляющие, содержащиеся в жидкой и твёрдой фракциях водоугольной пульпы.

Апробация данного технологического процесса осуществлена на лабораторной электрогидроударной установке UniThorr, спроектированной и изготовленной ЗАО «Струнные технологии» (г. Минск, Республика Беларусь).

Продолжение исследования и реализация заявленного авторами решения будут содействовать сохранению земной биосферы и рациональному использованию природных ресурсов – гаранта экологической стабильности на планете. Подобный подход соответствует задачам программы «ЭкоМир», функционирующей в рамках интенсификации защиты окружающей среды, и применим в программе uSpace, разрабатываемой ООО «Астроинженерные технологии» (г. Минск, Республика Беларусь) совместно с ЗАО «Струнные технологии».

Литература

1. *Программа «ЭкоМир» [Электронный ресурс]. – 1988. – Режим доступа: https://unitsky.engineer/assets/files/shares/1988/1988_23.pdf. – Дата доступа: 04.05.2021.*
2. *Программа «ЭкоМир» [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: http://ecospace.org/images/Program_EcoSpace_RU.pdf. – Дата доступа: 04.05.2021.*
3. *Угли. Термины и определения: ГОСТ 17070-2014. – Введ. 01.04.2016. – М.: Стандартинформ, 2015. – 16 с.*
4. *Добыча и обогащение угля: ИТС 37-2017. – М.: Бюро НДТ, 2017. – 294 с.*
5. *Григорьева, Е.Е. О гуминовых препаратах / Е.Е. Григорьева // International Agricultural Journal. – 2020. – Т. 63, № 5. – С. 40–54.*
6. *Гаврилов, С.В. Комплексная переработка торфа на биопродукты: дис. … канд. техн. наук: 05.21.03 / С.В. Гаврилов. – Казань, 2017. – 152 л.*
7. *Семёнов, А.А. Влияние гуминовых кислот на устойчивость растений и микроорганизмов к воздействию тяжёлых металлов: дис. … канд. биол. наук: 03.00.27 / А.А. Семёнов. – М., 2009. – 132 л.*
8. *Kochany, J. Application of Humic Substances in Environmental Remediation / J. Kochany, W. Smith // WM'01 Conference, Tucson, AZ, 25 Feb. – 1 Mar. 2001 [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/228760064_Application_of_humic_substances_in_environmental_remediation. – Date of access: 04.05.2021.*
9. *Humic Substances Biological Activity at the Plant-Soil Interface: From Environmental Aspects to Molecular Factors / S. Trevisan [et al.] // Plant Signaling & Behavior. – 2010. – No. 5. – P. 635–643.*
10. *Асланян, Г.С. Экологически чистые угольные технологии: аналитический обзор / Г.С. Асланян. – М.: Центр энергет. политики, 2004. – 66 с.*
11. *World Energy Outlook 2020 / International Energy Agency. – IEA, 2020. – 464 p.*
12. *Мировая энергетика – 2050 (Белая книга) / под ред. В.В. Бушуева, В.А. Каламанова. – М.: Энергия, 2011. – 360 с.*
13. *Охрана природы. Рекультивация земель. Термины и определения: ГОСТ 17.5.1.01-83. – Введ. 01.07.1984. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 13 с.*
14. *Собко, Б.Е. Потенциальная роль бурого угля в энергетическом балансе страны [Электронный ресурс] / Б.Е. Собко, А.А. Шустов, А.П. Белов. – Режим доступа: https://dtek.com/content/files/boris-sobko.pdf. – Дата доступа: 04.05.2021.*
15. *Получение гуминового органоминерального удобрения из бурого угля / Б.Т. Ермагамбет [и др.] // Научный журнал. – 2016. – № 10 (11). – С. 14–16.*
16. *Кудимов, Ю.Н. Электроразрядные процессы в жидкости и кинетика экстрагирования биологически активных компонентов / Ю.Н. Кудимов, В.Т. Казуб, Е.В. Голов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2002. – Т. 8, № 2. – С. 253–254.*
17. *Барская, А.В. Исследование диспергирования растительного сырья и экстракции водорастворимых веществ с использованием электрических разрядов: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.14.12 / А.В. Барская; Томский политехн. ун-т. – Томск, 1998. – 26 с.*
18. *Исследование получения водоугольного топлива из бурых углей электрогидравлическим способом / В.А. Дубровский [и др.] // Горение твёрдого топлива: докл. VIII всерос. конф. с междунар. участием, Новосибирск, 13–16 нояб. 2012 г. / Ин-т теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН. – Новосибирск: ИТ СО РАН, 2012 – С. 40.1–40.4.*
19. *Електроразрядная технология – перспективный путь создания водоугольного топлива / А.Р. Ризун [и др.] // Наукові праці. Серія: Техногенна безпека. – 2011. – Т. 163, № 151. – С. 20–23.*
20. *Исследование изменения физико-химических свойств водопроводной воды под воздействием мощных подводных искровых разрядов / Д.В. Винников [и др.] // Електротехніка і Електромеханіка. – 2017. – № 1. – С. 39–46.*
21. *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.*
22. *Юткин, Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности / Л.А. Юткин. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1986. – 253 с.*
23. *Мелиорант-почвоулучшитель «Гумус UniTerra». Технические условия: ТУ BY 691935133.002-2019. – Введ. 19.03.2019. – Минск: Госстандарт: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2019. – 12 с.*

УДК 663.51

Пищевая солнечная биоэнергетика

Юницкий А.Э.[1, 2]
Василевич В.В.[2]

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

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

Представлено исследование по созданию замкнутой сбалансированной пищевой солнечной биоэнергетики. Данное направление является одной из составляющих экоориентированной технологической платформы uEnergy, необходимой для реализации программы «ЭкоМир». Авторы проанализировали методы получения спиртов из практически неограниченных возобновляемых растительных ресурсов; изучили особенности применения спиртов в качестве топлива; обосновали важность использования комплексной ресурсосберегающей технологии при производстве спиртов и предложили способы изготовления кормов для животных и пищи для человека из вторичных продуктов спиртового производства. Широкое потребление разработанного авторами вида альтернативного топлива ставит новые задачи по адаптации энергоустановок, организации предприятий нового типа, поддерживающих комплексные подходы для решения экологических и социальных проблем. Рассматриваемая технология может быть внедрена в линейных городах для обеспечения их электроэнергией и теплом, а также в экваториальном линейном городе (ЭЛГ) протяжённостью 40 000 км.

Ключевые слова:
возобновляемые источники энергии, биотопливо, этанол, метанол, бутанол, альтернативная энергетика, возобновляемое растительное сырьё, сахарная свёкла.

Введение

Программа «ЭкоМир» направлена на преодоление экологических проблем, связанных с развитием техногенной цивилизации, а также на установление нового мироустройства. Одно из важных решений, предлагаемых в данной программе, – вынос загрязняющей природу индустрии за пределы биосферы Земли. Основой будущей космотехногенной земной цивилизации, справившейся с глобальными экологическими, ресурсными и социально-политическими вызовами на планете, станет новый мир – ЭкоМир.

Этот совершенный мир, по мнению автора программы инженера А.Э. Юницкого, будет опираться на три главные составляющие, призванные обеспечить весь необходимый комплекс условий для безопасного и устойчивого развития земной цивилизации в обозримом будущем:

- БиоМир – биосфера Земли, свободная от внешнего антропогенного воздействия, восстановленная и естественно эволюционирующая;
- ТехноМир – перевооружённая на Земле на биосферные технологии и вновь созданная в ближнем космосе техносфера, не оказывающая антропогенного угнетающего воздействия на земную биосферу и гораздо более энерго- и ресурсоэффективная;
- ХомоМир – усовершенствованное мировое общественно-политическое устройство, которое охватывает социумы, проживающие на планете и в космосе [1].

Согласно программе «ЭкоМир» ключевым звеном экообновлённой техносферы Земли является экваториальный линейный город (ЭЛГ) – земной компонент геокосмического транспортно-коммуникационного комплекса, на территории которого размещена взлётно-посадочная эстакада общепланетарного транспортного средства (ОТС) со всей инфраструктурой, необходимой для осуществления полётов ОТС и обслуживания глобальных геокосмических грузо-пассажирских перевозок на космическое индустриальное ожерелье «Орбита» (КИО «Орбита») и обратно на Землю. ЭЛГ представляет собой гармонично вписанные в природную среду сухопутных и океанических участков планеты поселения кластерного типа, соединённые между собой трассами uNet и размещённые на полосе вдоль экватора [2].

В ЭЛГ предусмотрены:

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

2) получение «зелёной» электроэнергии и тепла (в южных странах, наоборот, холода) без ущерба для биосферы планеты;

3) строительство экокомфортного жилья, производственных зданий и сооружений;

4) транспортная и энергоинформационная экоориентированная инфраструктура.

Указанные условия обеспечат экоориентированные технологические платформы:

- uGreen – доиндустриальное органическое земледелие;
- uEnergy – «зелёная» энергетика, преимущественно реликтовая солнечная биоэнергетика;
- Струнные технологии Юницкого (ЮСТ; англ. – uST);
- EcoHouse – экоориентированное жилое и промышленное строительство [1].

Создание экоориентированной технологической платформы uEnergy предполагает разработку и использование реликтовой солнечной биоэнергетики и пищевой солнечной биоэнергетики.

Реликтовая солнечная биоэнергетика (РСБЭ) – энергетика, основанная на применении ископаемых бурых углей и сланцев для получения чистой энергии и попутно живого гумуса, необходимого для восстановления плодородия бедных и пустынных земель. РСБЭ будет активировать минеральное богатство древних почв и энергию древнего Солнца, накопленные растениями в периоды мезозоя и кайнозоя и сохранённые в угле.

Пищевая солнечная биоэнергетика (ПСБЭ) – энергетика, основанная на комплексном потреблении и переработке биомассы растений, впитавших энергию Солнца, для получения биотоплива, корма для животных, пищи для человека.

Биотопливо – различные виды горючих продуктов, произведённых из растительного сырья, главными преимуществами которых являются возобновляемость и аккумулирование солнечной энергии. Следовательно, использование биотоплива на транспорте, в промышленности и энергетике не изменит сложившийся природный энергетический баланс планеты.

Ежегодно в биосфере Земли образуются 170–200 млрд тонн растительной биомассы (в пересчёте на сухую массу), что энергетически равнозначно 70–80 млрд тонн нефти [3].

Спирты – экологически чистое топливо, которое практически эквивалентно природному газу и превосходит по своим параметрам топливо, выработанное из нефти, при этом 1 л этанола соответствует приблизительно 0,67 л бензина.

Выращивание определённых видов растений (например, сахарной свёклы) в качестве сырья для производства спирта позволяет получать не только экологически чистое топливо, но и корма для животных, пищу для людей. Урожайность сахарной свёклы может достигать более 100 т/га, что способствует выработке около 10 т спирта.

Мировое потребление жидкого топлива в 2020 г. составило 4,715 млрд тонн. Для того чтобы изготовить 1 млрд тонн спирта (примерно столько сегодня производится бензина в мире), необходимо задействовать 1 млн км^2 посевных земель, что в 21 раз меньше площади пустынь на планете, занимающих 21 млн км^2 (без учёта полярных пустынь Антарктиды и Арктики). Значит, восстановив плодородие только пустынь, человечество сможет закрыть свою потребность в экологически чистом углеводородном топливе на тысячелетия вперёд и обеспечить питанием миллиарды людей и животных.

Альтернативные источники энергии

Рост производства и населения приводит к увеличению потребления энергии. Причиной поиска и развития альтернативных способов её получения стали происходящие на планете климатические изменения.

На сегодняшний день нужны новые источники энергии, которые обеспечат сырьевую базу, улучшат состояние окружающей среды и повысят уровень жизни населения. Как поступать с отходами, остающимися после переработки традиционных источников энергии, – также сложная задача для индустриальных государств [4].

Нахождение альтернативных источников энергии на возобновляемом сырье является решением многих существующих проблем. Большой интерес в данном случае вызывает биомасса растений, так как у представителей флоры имеется ряд преимуществ перед ископаемыми углеводородами. Создание замкнутого цикла использования энергии и утилизации отходов поможет в вопросе обеспечения энергией, кормом для животных, пищей для человека, органическими удобрениями для растений. Комплексный подход в процессе получения и применения спиртов в качестве топлива (включает выращивание необходимого сырья, производство топлива, переработку отходов спиртового производства) позволяет справиться с поставленными задачами.

Фотосинтез лежит в основе жизнедеятельности растений, которые, поглощая углекислый газ из воздуха и воду из почвы, под воздействием солнечного излучения образуют углеводы – соединения из углерода, кислорода и водорода. В результате сложных биохимических превращений из углеводов возникает разнообразие органических соединений, входящих в состав растений, – сахара, целлюлоза, крахмал, они могут служить сырьём для производства спиртов.

Процесс фотосинтеза упрощённо представлен формулой (1):

$$6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 \text{ (глюкоза)} + 6O_2. \quad (1)$$

Из шести молекул углекислого газа и шести молекул воды под воздействием солнечного излучения образуются молекула углевода и шесть молекул кислорода.

Растения строят клетки и ткани из нескольких основных элементов – углерода, кислорода и водорода; содержание других химических элементов незначительно.

Кроме того, растения имеют нулевой углеродный баланс. После их гибели (в процессе гниения и разложения микроорганизмами) выделяется CO_2, количество которого соответствует объёму углекислого газа, поглощённого растениями при росте.

Спирты – органические вещества, производные углеводорода (CH), которые включают в себя гидроксильную группу (OH) и состоят из тех же элементов – углерода, кислорода и водорода. При производстве спиртов из возобновляемого сырья и использовании их в виде топлива также сохраняется нулевой углеродный баланс.

Применение спиртов в качестве топлива

Применение в качестве моторного топлива спиртов, полученных из возобновляемого растительного сырья, обладает множеством преимуществ.

Существенное достоинство – улучшение экологической обстановки. Двигатель внутреннего сгорания, работающий на спиртах, способствует значительному снижению выбросов основных токсичных компонентов (оксида углерода, несгоревших углеводородов, оксидов азота). Кроме того, КПД двигателя возрастает на 5–10 % по сравнению с двигателем, функционирующим на бензине. Применение спиртов характеризуется минимальной продолжительностью углеродного цикла.

В качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания наиболее часто используются метанол, этанол и бутанол.

Метанол (метиловый спирт) имеет формулу CH_3OH. Представляет собой прозрачную бесцветную жидкость со слабым запахом этанола, легко воспламеняется и обеспечивает бездымное сгорание, ядовит для организма

человека (вплоть до смертельного исхода при попадании внутрь). Метанол отличается повышенной коррозионной активностью по отношению к некоторым конструкционным материалам (например, к алюминию), что требует доработки штатной топливной системы транспортного средства.

Этанол (этиловый спирт) имеет формулу C_2H_5OH. Представляет собой прозрачную бесцветную жидкость с характерным запахом, легко воспламеняется, гигроскопичен, хорошо растворяется в воде в любых пропорциях (как и метанол), оказывает наркотическое действие на организм человека. В отличие от других спиртов получил наибольшее распространение в качестве моторного топлива.

Бутанол (бутиловый спирт) имеет формулу C_4H_9OH. Представляет собой бесцветную, слегка маслянистую жидкость с заметным сивушным запахом. Известно несколько изомерных форм, в качестве топлива применяется 1-бутанол $CH_3(CH_2)_3OH$. Обладает более высокой, чем у других спиртов, теплотворной способностью, близкой к показателям бензина. Хорошо смешивается с органическими растворителями, однако не очень легко растворяется в воде, образуя 7,6-процентный раствор. У бутанола отсутствует наркотическое действие на организм человека; при попадании на кожу способен вызывать раздражение, а его пары опасны для слизистых оболочек.

Бензин – смесь лёгких углеводородов с диапазоном температур кипения 30–205 °C. Представляет собой бесцветную или едва желтоватую жидкость, легко воспламеняется, активно испаряется при температуре выше 30 °C, пары этого нефтепродукта образуют взрывоопасную смесь при концентрации 0,8–8 об. %. Оказывает наркотическое действие на организм человека; пары вызывают раздражение слизистых оболочек; негативные последствия могут возникнуть при попадании бензина на кожу.

В таблице 1 сравниваются свойства спиртов и бензина. Из представленных данных видно, что спирты характеризуются меньшей энергией на единицу веса и единицу объёма, чем бензин, но не требуют большего количества воздуха для сгорания. Теплотворные способности топливовоздушных смесей различаются незначительно.

Спирты имеют бóльшую теплоту испарения, у метанола подобный показатель в 3,3 раза выше, чем у бензина. Чем больше теплота испарения топливной смеси, тем больше энергии необходимо заимствовать от деталей двигателя, соприкасающихся с топливом. Данный аспект приводит к снижению температуры горючей смеси перед тактом рабочего хода. Соответственно, намного эффективнее происходит охлаждение особо теплонагруженных деталей двигателя (клапана и поршня). Температура топливной смеси во время такта впуска также более низкая, что способствует увеличению наполнения цилиндров топливной смесью – возникает компрессорный эффект спиртовых смесей. Так, при использовании метанола максимальная температура сгорания спиртовой смеси меньше примерно на 200 °C по сравнению с бензиновой.

Таблица 1 – Свойства спиртов и бензина

Свойства продукта	Метанол	Этанол	Бутанол	Бензин
Плотность, кг/м^3	792	794	810	725–780
Октановое число, ед.	150	105	96	95
Теплотворная способность, МДж/кг	19,9	26,8	33,7	44
Соотношение воздуха и топлива, кг воздуха / кг топлива	6,42	9	11,1	14,95
Теплота испарения, МДж/кг	1,2	0,92	0,43	0,36
Теплотворная способность топливовоздушной смеси, МДж/кг смеси	2,68	2,68	2,78	2,75
Температура вспышки, °C	6	13	34	–43
Температура самовоспламенения, °C	440	422,8	340	255–370
Температура замерзания, °C	–97,6	–114,15	–89,8	–70*
Степень опасности воздействия на организм человека, класс	3	4	3	4
Предельно допустимая концентрация (ПДК) паров в воздухе рабочей зоны, мг/м^3	5	1000	10	100

* В зависимости от используемых присадок.

Соотношение воздуха и топлива для спиртов ниже, чем для бензина, поэтому возможно подавать более обогащённую смесь и тем самым увеличивать мощность двигателя. Повышенное количество спирта, попадающего в цилиндры двигателя, оказывает дополнительное охлаждающее действие [5].

В отличие от бензина спирты содержат атом кислорода, содействующий полному сгоранию топливовоздушной смеси, а также уменьшению нагарообразования. При использовании спиртов как компонентов моторного топлива снижаются выбросы монооксида углерода (CO) и окислов азота (NO_x) на 5–15 % и выше.

У бензина теплотворная способность на единицу объёма больше, чем у спиртов. Данное свойство повышает расход спиртовых смесей по сравнению с бензиновой: для этанола – 156 %, а для метанола – 209 % от расхода бензина. Для того чтобы компенсировать чрезмерное потребление спиртовых смесей, необходимо увеличить объём топливных баков и изменить систему подачи топлива.

Двигатель, работающий на спиртовой смеси, при низких, и особенно при отрицательных, температурах запускается значительно сложнее, чем функционирующий на бензине. Это обусловлено высокой температурой вспышки, худшей по сравнению с бензином испаряемостью спиртов, а также образованием конденсата на электродах свечей.

Топливные смеси

В качестве моторного топлива применяются различные спиртовые смеси. Транспортные средства с гибким выбором топлива – Flexible-fuel vehicle (FFV) – могут использовать несколько видов топливных смесей: бензин, спирт и их комбинации. Топливо, содержащее спирт, имеет буквенно-цифровое обозначение. Буквы указывают на задействованный спирт: E – этанол, M – метанол, B – бутанол; цифры – на процентное содержание спирта в смеси по объёму (таблица 2).

В разных странах распространены те или иные спиртобензиновые топливные смеси. Наибольшую популярность получили [6]:

- E5, E10 – смеси с небольшим содержанием этанола (5 %, 10 %) и минимальным объёмом воды (менее 1 %) (безводный этанол). Активно задействованы в более чем 20 странах. Могут обеспечивать надёжную работу двигателей внутреннего сгорания без модификации топливной системы или двигателя. Одобрены для применения во всех новых автомобилях США, а в некоторых государствах обязательны для использования. Добавка небольшого количества этанола снижает вредные выбросы, повышает октановое число на 2–3 единицы и позволяет удалить вредную оксигенирующую добавку метил-трет-бутилового эфира (МТБЭ).

Таблица 2 – Состав спиртовых топливных смесей

Топливная смесь	Бензин, %	Безводный этанол, %	Водный этанол, %	Метанол, %	Бутанол, %	Топливная присадка, %
E5	95	5				
E10	90	10				
E15	85	15				
hE15	85		15			
E20	80	20				
E25	75	25				
E70	30	70				
E75	25	75				
E85	15	85				
ED95		95				5
E100			100			
M85	15			85		
M100				100		
E85B		85			15	

МТБЭ имеет большой спрос среди производителей топлива для увеличения октанового числа и улучшения горения топлива;

• E15 – смесь, состоящая из 15 % этанола и 85 % бензина. В США рассматривается вопрос о применении данной смеси вместо E10 в автомобилях моложе 2000-го года выпуска;

• hE15 – смесь включает 15 % водного этанола и 85 % бензина. Используется в Нидерландах с 2008 г. на государственных АЗС. Приведение этанола в соответствие техническим условиям на безводный этанол (содержание воды менее 1 %) требует значительных дополнительных затрат. В водном этаноле допускается объёмное содержание воды 3,5–4,9 %, которая является ингибитором «сухой» коррозии от воздействия этанола. Впрыск воды снижает общие выбросы CO_2 и оказывает положительное влияние на термодинамический КПД двигателя;

• E20, E25 – смеси, содержащие 20 % и 25 % этанола соответственно. Их активное потребление наблюдается с конца 1970-х годов в Бразилии. Бензиновые двигатели всех выпускаемых в Бразилии автомобилей адаптированы для работы с данными смесями. Топливная смесь E20 распространена в Таиланде, обсуждается её применение в Великобритании, некоторых штатах США;

• E70, E75 – смеси, в составе которых допускается 70 % и 75 % этанола соответственно. Используются в автомобилях FFV в качестве замены E85 в зимний период. Снижение температуры приводит к падению давления паров – при показателе ниже 45 кПа затрудняется воспламенение топлива. При температурах ниже 11 °C увеличение содержания бензина и, соответственно, уменьшение количества этанола облегчает запуск двигателя и сокращает выбросы этанола. E70 используется в США, E75 – в Швеции;

• E85 – смесь, полученная из 85 % этанола и 15 % бензина. Имеет октановое число, равное 108; является стандартной для заправки транспортных средств FFV. Получила наибольшее распространение в Бразилии и США;

• ED95 – смесь изготовлена из 95 % этанола и 5 % топливной присадки, улучшающей воспламенение. Применяется в дизельных двигателях, модифицированных на более высокую степень сжатия. Присадка гарантирует нормальную работу дизельных двигателей. Данный тип топливной смеси используется в Швеции, Великобритании, Испании, Италии, Бельгии и Норвегии;

• E100 – это 100 % этанол. Данный спирт гигроскопичен и хорошо поглощает воду. Получение безводного этанола требует дополнительных затрат. Под E100 подразумевают прямой водный этанол. Азеотропная смесь включает в свой состав по объёму 96,5 % этанола и 3,5 % воды; содержит максимальную концентрацию этанола, которую можно получить простой фракционной перегонкой [6]. Используется с конца 1970-х годов в Бразилии в качестве моторного топлива для транспортных средств со специально разработанными двигателями. Может применяться в транспортных средствах FFV. Спецификация ANP (Бразилия) определяет максимальную концентрацию воды в этаноле, составляющую 4,9 об. % (примерно 6,1 масс. %);

• M85 – смесь, содержащая 85 % метанола и 15 % бензина. Была распространена в 1980–2005-х годах в штате Калифорния (США). Подходит для заправки транспортных средств FFV. Использование смеси обсуждается в таких странах, как Индия, Бразилия, Китай;

• M100 – 100 % метанол. Самостоятельное моторное топливо; улучшает характеристику двигателя, увеличивает его мощность и крутящий момент. Транспортные средства FFV способны работать на чистом метаноле;

• E85B – смесь, включающая 85 % этанола и 15 % бутанола. Длинная углеводородная цепь бутанола делает его похожим больше на бензин, чем на этанол. Двигатель, предназначенный для работы на бензине, может эксплуатироваться на бутаноле без какой-либо модификации.

Технология получения спиртов

Технологии получения спиртов делятся на биохимические (изготовление биоспиртов из возобновляемого растительного сырья) и химические (изготовление синтетических спиртов из минерального сырья).

К возобновляемому растительному сырью, которое может использоваться в процессе получения спиртов, относят все его виды, содержащие углеводы. Способ получения этанола из сельскохозяйственных культур известен с древних времён. Это спиртовое брожение растительного сырья, включающего углеводы (крахмал, глюкозу, фруктозу и др.), под действием ферментов дрожжей и бактерий. Схема процесса брожения выражается формулой (2):

$$C_6H_{12}O_6\ (\text{глюкоза}) \rightarrow 2C_2H_5OH\ (\text{этанол}) + 2CO_2. \qquad (2)$$

В результате брожения получается раствор, имеющий в своём составе этиловый спирт в концентрации до 15 %. При большей спиртовой концентрации дрожжи обычно гибнут. Произведённый таким способом этиловый спирт нуждается в дальнейшей очистке и концентрировании, обычно это осуществляется с помощью дистилляции.

Для приготовления этилового спирта часто используют сельскохозяйственные культуры со значительным содержанием сахаров или крахмала: сахарный тростник, кукурузу, картофель, зерновые культуры, сахарную свёклу и др.

Современные промышленные технологии позволяют вырабатывать спирты практически из любого сахаро- и крахмалосодержащего растительного сырья. Процесс получения этанола состоит из различных технологических операций:

• подготовка и измельчение сырья;

• ферментация с применением выделенных биоинженерным путём высокоактивных ферментов альфа-амилазы;

• образование чистого этанола на ректификационных колоннах.

Отходами промышленного выпуска спирта являются барда и сивушные масла. Барда может применяться в производстве кормов.

Гидролизный (технический, древесный) этанол синтезируют из сырья, содержащего целлюлозу. Целлюлоза – углевод, полисахарид, имеющий формулу $(C_6H_{10}O_5)_n$; представляет собой линейный гомополимер из сотен и даже десятков тысяч остатков D-глюкозы. Глюкозу можно изготовить путём гидролиза целлюлозы (3) в присутствии серной кислоты (H_2SO_4):

$$(C_6H_{10}O_5)_n\ (\text{целлюлоза}) + nH_2O \rightarrow nC_6H_{12}O_6\ (\text{глюкоза}). \qquad (3)$$

Серную кислоту необходимо удалить (например, осадив известняком). Этанол получают посредством дрожжевого брожения сахаров, выработанных в результате гидролиза целлюлозы. Тонна древесины даёт до 200 л этанола.

Изначально метанол изготавливали из водного дистиллята, добываемого в процессе сухой перегонки древесины (нагревание древесины без доступа кислорода). Производимый таким способом метанол содержал различные трудноотделимые примеси (в частности, ацетон).

Промышленных масштабов достиг каталитический синтез метанола (синтетический спирт) из оксида углерода и водорода, происходящий под давлением и с применением катализаторов. В настоящее время основное количество метанола производят на основе синтеза природного газа [7].

Перспективное направление получения метанола из возобновляемых ресурсов – выращивание морского фитопланктона, дальнейший биосинтез метанобактериями метана и последующая каталитическая конверсия в метанол. Факторы, побудившие к разработке данной технологии: большая скорость прироста биомассы фитопланктона (до 100 т/га морского побережья в год); отсутствие необходимости задействовать плодородные почвы и пресную воду; нет конкуренции с производством пищи; высокий энергетический баланс производства метанола по указанной технологии (достигает семи).

Бутанол можно изготовить из возобновляемого растительного и минерального сырья. Из возобновляемого растительного сырья он вырабатывается в результате биоконверсии, которая проходит с участием бактерий, относящихся к роду *Clostridium* [3]. Данный процесс известен как ацетоно-бутиловое брожение. Сырьём для получения бутанола, как и для этанола, являются сахаро- и крахмалосодержащие сельскохозяйственные культуры, а также целлюлозосодержащие растения.

Используемый в качестве моторного топлива бутанол обладает лучшими свойствами, чем этанол. Сдерживающие факторы по его применению – более низкий по сравнению с этанолом выход бутанола на 1 кг растительного сырья и, соответственно, его более высокая стоимость. В настоящее время ведутся исследования селекции других штаммов бактерии и разрабатываются новые технологии, позволяющие увеличить выход бутанола [8]. Нарастить масштабы производства бутанола можно достаточно быстро: оно базируется на том же сырье, что и производство этанола, следовательно, допустимо использование существующего оборудования спиртовых заводов.

Выход спиртов из различного сырья

Возобновляемым растительным сырьём для получения спиртов служат различные культуры пищевого и непищевого назначения, содержащие в своей структуре сахара, крахмал и целлюлозу.

Одни растения (сахарный тростник, сахарная свёкла) накапливают в больших количествах сахара; другие (злаковые, картофель, маниок, батат) – крахмал. Сахара и крахмал являются источником энергии для человека и многих животных.

В Бразилии основное сырьё, из которого производят этанол, – сахарный тростник, в США – кукуруза. В Европе для данной цели применяются зерновые культуры, а также сахарная свёкла (её доля в выработке этого спирта составляет более 20 %).

К растительному непищевому сырью, используемому для получения гидролизных спиртов, относятся древесина и различные её отходы, а также остатки после выращивания

и переработки сельскохозяйственных культур [9], ряд многолетних травянистых растений (например, мискантус, урожай которого (15–20 т/га) сохраняется в течение 20 лет и более).

В таблице 3 приведены значения выхода этанола из углеводов. В составе растений имеются различные углеводы (в частности, батат (сладкий картофель) содержит до 30 % крахмала и до 6 % сахаров).

При переработке разного сырья средний выход этанола с гектара посевной площади отличается. В таблице 4 представлены средние значения выхода спирта из различного сырья. Результаты могут отличаться в зависимости от сорта культуры, условий переработки, технологии производства и др

Применение современных инновационных технологий ведения сельского хозяйства позволяет получать высокие урожаи. Так, с гектара посевной площади можно собрать 100 тонн и более сахарной свёклы, что эквивалентно 10 000 л этанола.

Таблица 3 – Выход этанола из 1 кг углеводов

Углеводы, 1 кг	Формула	Этанол 96 %, л
Крахмал	$(C_6H_{10}O_5)_n$	0,59
Сахароза	$C_{12}H_{22}O_{11}$	0,56
Глюкоза (фруктоза)	$C_6H_{12}O_6$	0,53

Таблица 4 – Выход этанола из 1 кг пищевого сырья

Сырьё, 1 кг	Этанол 96 %, л	Углеводы, %
Горох	0,31	49
Гречиха	0,38	60
Картофель	0,1	17
Кукуруза	0,41	65
Овёс	0,38	60
Пшеница	0,38	60
Пшено	0,38	59
Рис	0,48	75
Рожь	0,35	55
Сахарная свёкла	0,098	17,5
Ячмень	0,37	58

Использование сырья и отходов производства спиртов для получения продуктов пищевого и кормового назначения

Важной особенностью производства спиртов является его зависимость от вида и качества сырья, а также значительная материалоёмкость технологии: 60–70 % себестоимости спирта приходится на сырьё. Возникает вопрос рационального использования образующихся вторичных сырьевых ресурсов, что позволяет повысить рентабельность, безопасность производства и экологичность; получить питательные корма, содержащие набор ценных макро-, микро- и ультрамикроэлементов.

При переработке растительного сырья в процессе брожения образуется брага, имеющая сложный состав. Она включает в себя воду, спирт и различные органические и неорганические соединения. На состав и содержание компонентов браги влияет вид используемого сырья, а также его качество, технологии и режимы переработки.

Преобладающий отход производства спиртов – барда. Она остаётся после извлечения из браги спиртов и представляет собой светло-коричневый водный раствор, в котором содержатся питательные вещества. В зависимости от технологии производства на 1 л спирта приходится 10–15 л барды, сухие вещества в ней составляют 5–10 %.

Реализация комплексной ресурсосберегающей технологии производства спирта предполагает различные варианты переработки барды с целью получения белково-углеводных продуктов пищевого и кормового назначения (рисунок 1): пищевой ферментированной клетчатки, кормовых дрожжей, белково-витаминных концентратов, премиксов, сухой барды [10]. Введение их в рацион животных и птиц обеспечивает увеличение мясной продуктивности на 10–15 %, повышение сохранности молодняка, рост надоев у коров и яйценоскости птиц.

Важная составляющая реализации комплексной ресурсосберегающей технологии производства спиртов – растительное сырьё. Растение, применяемое в качестве сырья для производства спиртов, должно обладать высокой урожайностью, содержать большое количество углеводов (сахаров, крахмала или целлюлозы), иметь короткий период созревания, давать возможность использовать все части при комплексной переработке.

Сахарная свёкла идеально подходит по всем указанным критериям. Она отличается высокой урожайностью (100 тонн

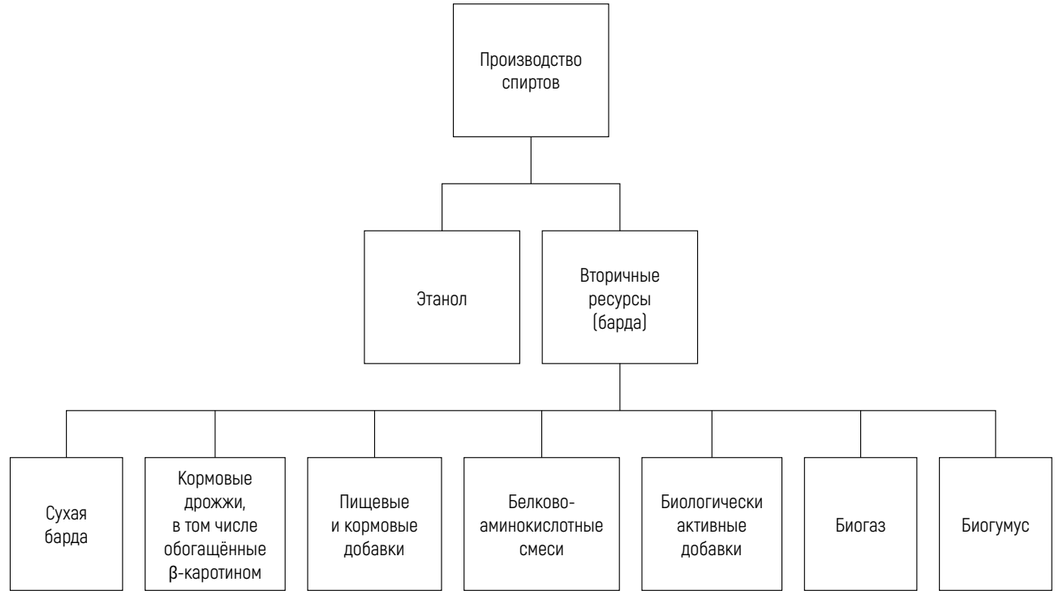


Рисунок 1 – Схема комплексной переработки сырья для ресурсосберегающей технологии производства спиртов

и более сахарной свёклы с гектара посевных площадей, что эквивалентно 10 000 л этанола). Её корнеплод содержит до 23 % сахаров. В сентябре, к началу уборки, масса листьев сахарной свёклы составляет 30–100 % от массы корнеплодов. Зелёная масса богата протеином и другими полезными веществами; может направляться на корм скоту. По питательности не уступает сеяным травам: 5–6 кг зелёной массы соответствуют одной кормовой единице.

В таблице 5 представлен состав различных частей сахарной свёклы. Химический состав и содержание сахаров может значительно изменяться в зависимости от условий выращивания.

Таблица 5 – Состав корнеплодов и листьев сахарной свёклы [11]

Компоненты	Содержание в 100 г натурального продукта, г		Содержание в 100 г сухого вещества, г	
	Корнеплод	Листья	Корнеплод	Листья
Сухие вещества	23,6	13,85	100	100
Сахароза	16,5	–	69,91	–
Сырой протеин	1,05	2,41	4,45	17,4
Сырой жир	0,12	0,19	0,51	1,37
Сырая клетчатка	1,16	0,78	4,91	5,63
БЭВ* (кроме сахарозы)	2,92	6,88	12,37	49,67
Зола	0,75	2,75	3,18	19,85

* БЭВ – безазотистые экстрактивные вещества (сахара, крахмал и другие растворимые соединения, используемые организмом на энергетические нужды).

Сахарная свёкла может быть преобразована в сахар, средний выход которого составит 12–13 %. При производстве сахара из свёклы получают побочные продукты (таблица 6).

Таблица 6 – Побочные продукты,
% от массы переработанной сахарной свёклы

	Сырой свекловичный жом	Меласса	Фильтрационный осадок
Побочные продукты, %	80–83	5–5,5	10–12

Свекловичный жом (обессахаренная стружка) – основной побочный продукт при получении сахара. Характеризуется высокой питательной ценностью, содержит достаточно много клетчатки, является готовым кормом для крупного рогатого скота. Имеющийся в жоме пектин повышает усвояемость корма. Используется в сыром виде, хорошо силосуется, сушится и гранулируется. В сухом виде 100 кг жома соответствуют 85 кормовым единицам, что приближается к концентрированным кормам.

Меласса – ещё один важный побочный продукт при производстве сахара, похож на сироп тёмно-коричневого цвета. Включает в себя 58–60 % сахаров, значительное количество азотистых веществ, БЭВ и др. Меласса применяется при производстве этанола, дрожжей, комбикормов, служит питательной средой при получении витамина B_{12}; в смеси с другими компонентами направляется на корм скоту.

Фильтрационный осадок образуется после очистки свекловичного сока с помощью извести; имеет влажность 30–50 % (в зависимости от технологии фильтрации). Полезен в качестве удобрений для почвы с повышенной кислотностью, улучшает её структуру. Может задействоваться при производстве строительных материалов (силикатного кирпича, цемента).

Энергетический баланс спиртов

Выработка спирта из возобновляемого растительного сырья состоит из нескольких этапов: посадки и выращивания культур, сбора урожая, подготовки и переработки сырья, утилизации отходов. Указанные шаги требуют соответствующих ресурсов и инфраструктуры. Отношение энергии, полученной при сжигании топлива, к энергии, затраченной в процессе его производства, известно как энергетический баланс топлива.

Данный показатель является критерием оценки способности биотоплива и спиртов служить, в частности, заменой невозобновляемым источникам энергии. Многочисленные исследования и публикации показывают, что полученные результаты могут сильно различаться и иногда даже иметь противоречивые выводы. На рисунке 2 представлена информация об энергетическом балансе этанола, взятая из различных источников.

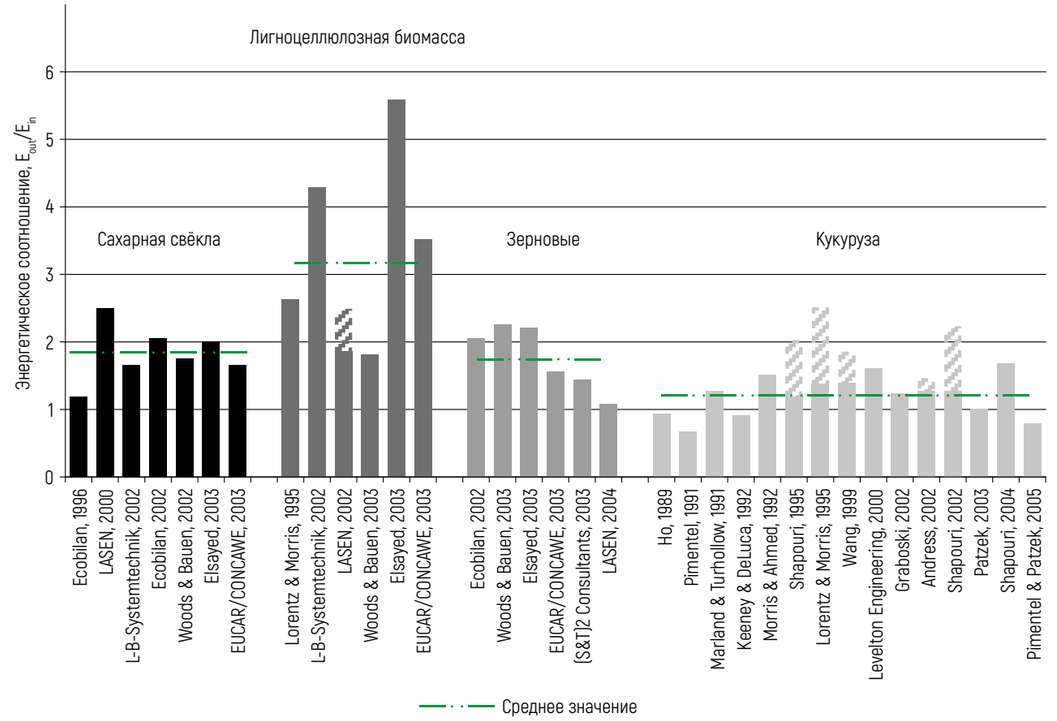


Рисунок 2 – Энергетический баланс этанола, полученного из разного сырья [12]

Энергетический баланс этанола зависит от вида растительной культуры, из которой производится спирт, эффективности методов ведения сельского хозяйства, урожайности и других факторов (таблица 7). Практика показывает, что даже при одном и том же исходном сырье энергетический баланс будет отличаться. Причин тому несколько. Различия в изысканиях могут возникать на каждом из этапов: определение системы, инвентаризация жизненного цикла, оценка воздействия, интерпретация и анализ результатов [12].

Таблица 7 – Факторы, влияющие на результаты исследования энергетического баланса спиртов [12]

Фактор	Определение системы	Инвентаризация жизненного цикла	Оценка воздействия	Интерпретация и анализ результатов
1	2	3	4	5
Временные рамки		+		
Географическое положение (климатические факторы)	+	+		
Методы ведения сельского хозяйства		+		
Механизация		+		
Тип удобрения (органическое, минеральное)		+		

Окончание таблицы 7

1	2	3	4	5
Урожайность, выход спиртов с 1 га посевной площади		+		
Качество сырья	+	+		
Тип сырья (сахар/крахмал/целлюлоза)		+		
Вид сырья (урожай/отходы)	+	+		
Доставка сырья (расстояние, способ доставки)	+	+		
Характер производственного предприятия	+	+		
Масштаб (коммерческий, пилотный, модельный)	+	+		+
Технология, использование побочных продуктов		+		
Структура энергетической системы		+		
Производство электроэнергии		+		
Потребление электроэнергии		+		
Качество данных инвентаризации жизненного цикла		+		+
Надёжность		+		+
Полнота		+		+
Характер исследования (пристрастность)		+	+	+
Распределение нагрузки на окружающую среду	+			+
Метод оценки воздействия			+	+

Ключевые факторы, влияющие на энергетический баланс спиртов: методы ведения сельского хозяйства; урожайность сельскохозяйственных культур; качество сырья, определяющее выход спиртов с гектара посевной площади; переработка вторичных ресурсов спиртового производства; доставка сырья на переработку.

Заключение

Спирты, задействованные в качестве топлива, обеспечивают ряд существенных преимуществ. Полученные из возобновляемого растительного сырья, они имеют нулевой углеродный баланс, т. е. нейтральны как источник парниковых газов в отличие от продуктов переработки нефти. Спирты обладают положительным энергетическим балансом (количество энергии, получаемой от спиртов, больше, чем затрачивается на их производство). Применение их в составе моторного топлива снижает выбросы основных токсичных компонентов (оксида углерода, несгоревших углеводородов и оксидов азота), при этом повышается КПД двигателей. Использование спиртов характеризуется минимальной продолжительностью углеродного цикла.

Правильная организация процесса изготовления спиртов (освоение инновационных технологий ведения сельского хозяйства для достижения более высоких урожаев с меньшими энергетическими затратами, внедрение комплексной ресурсосберегающей технологии производства спиртов, сокращение затрат на доставку сырья для переработки) позволит значительно улучшить энергетический баланс получения спиртов.

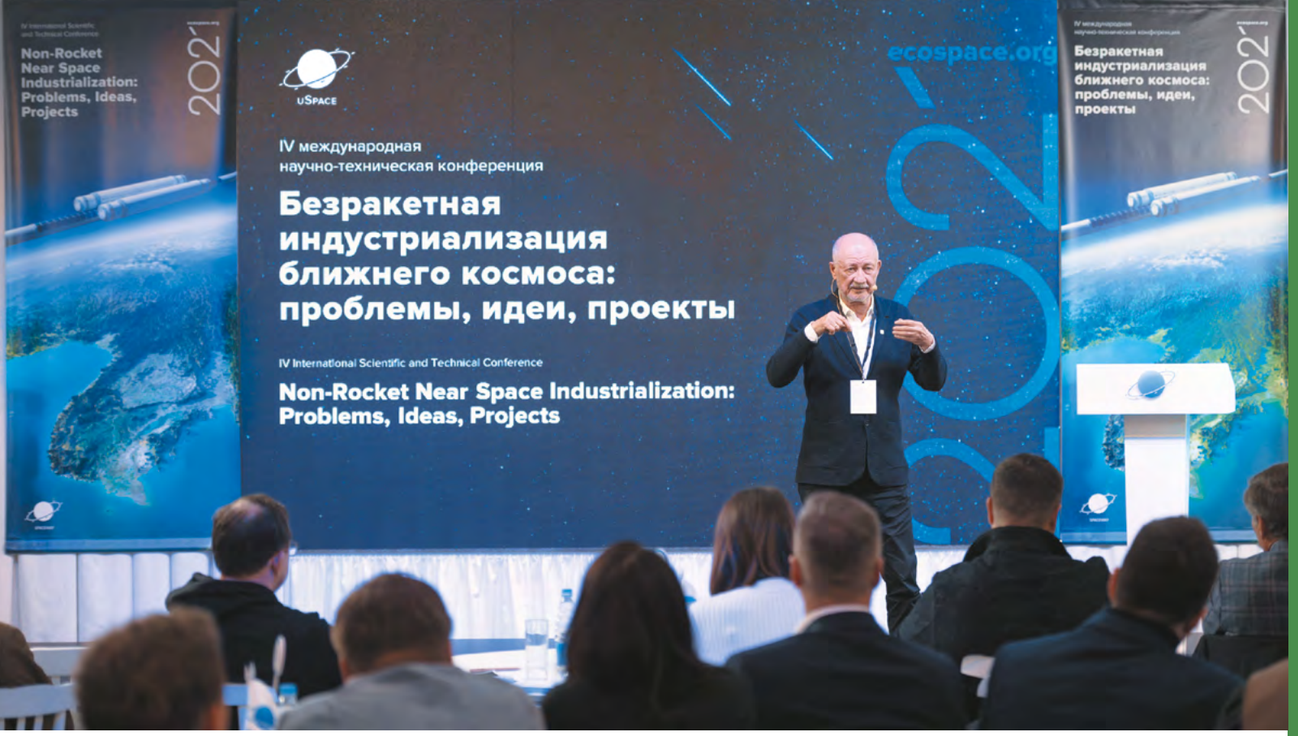
Все побочные продукты, образованные в процессе выпуска спирта, могут понадобиться для питания земляного (дождевого) червя, а также аэробных и анаэробных микроорганизмов, необходимых для формирования живого гумуса – основы плодородия любых почв. Так, из 100 тонн сахарной свёклы, выращенной на 1 га, после выработки спирта можно получить ещё до 50 тонн живого гумуса (при дополнительном использовании зелёных листьев свёклы) стоимостью до 50 000 USD (из расчёта до 1000 USD/т), что превышает рыночную стоимость самого спирта, поскольку эффективность гумуса в улучшении плодородия почв больше, чем, например, у природных чернозёмов.

Такой подход к технологии производства спирта делает его биосферным и высокорентабельным. При этом продукт, выделенный из растительного сырья и используемый в качестве топлива, не увеличивает углеродный след в биосфере, так как любые растения на земной суше в процессе естественного биосферного обмена веществ неизбежно преобразуются в гумус (неважно, в почве или через желудки животных, например коров) с выделением углекислого газа приблизительно в тех же количествах, что и при горении спирта.

Освоение альтернативных источников энергии, использующих возобновляемое сырьё, даст возможность решить энергетические и экологические проблемы человечества. Применение растений в производстве биотоплива, в частности спиртов, внедрение комплексных технологий переработки сырья для получения одновременно биотоплива, кормов для животных, пищи для человека и органических удобрений для растений позволит создать замкнутую и биосферно сбалансированную пищевую солнечную биоэнергетику.

Литература

1. *Программа «ЭкоМир» [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: http://ecospace.org/images/Program_EcoSpace_RU.pdf. – Дата доступа: 11.03.2021.*
2. *Юницкий, А.Э. Экваториальный линейный город как альтернатива концепции «умных городов» / А.Э. Юницкий, С.С. Семёнов // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / Астроинженерные технологии; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 223–229.*
3. *Гельфанд, Е.Д. Технология биотоплив / Е.Д. Гельфанд. – Архангельск: Север. [Аркт.] федер. ун-т им. М.В. Ломоносова, 2012. – 60 с.*
4. *Шпагина, А.С. «Зелёная» химия / А.С. Шпагина, Ф.Р. Гариева // Новые импульсы развития: вопросы научных исследований: сб. ст. V междунар. науч.-практ. конф., Саратов, 14 нояб. 2020 г. / Науч. обществ. организация «Цифровая наука». – Саратов: Цифровая наука, 2020. –С. 6–12.*
5. *Морозов, Г. Спирто-бензиновые топливные смеси [Электронный ресурс] / Г. Морозов // Катера и яхты. – 1984. – № 107. – Режим доступа: http://www.barque.ru/shipbuilding/1984/alcohol_gasoline_fuel_mixtures. – Дата доступа: 11.03.2021.*
6. *Топливные смеси этанола обыкновенные [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.other.wiki/wiki/Common_ethanol_fuel_mixtures. – Дата доступа: 18.03.2021.*
7. *Кемалов, Р.А. Технологии получения и применения метанола / Р.А. Кемалов, А.Ф. Кемалов. – Казань: Казан. ун-т, 2016. – 167 с.*
8. *Investigation of Availability of a High Throughput Screening Method for Predicting Butanol Solvent-Producing Ability of Clostridium beijerinckii [Electronic resource] / H. Su [et al.] // BMC Microbiology. – 2016. – Vol. 16, No. 1. – Mode of access: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4957875/#. – Date of access: 13.04.2021.*
9. *Биоэтанол: технологии получения из возобновляемого растительного сырья и области применения [Электронный ресурс] / П.Е. Матковский [и др.] // Альтернативная энергетика и экология. – 2010. – № 6 (86). – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/ 236204437_Bioetanol_tehnologii_polucenia_iz_vozobnovlaemogo_rastitelnogo_syra_i_oblasti_primenenia. – Дата доступа: 19.04.2021.*
10. *Комплексная переработка сырья – реальная перспектива повышения рентабельности спиртового производства / В.В. Кононенко [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2017. – № 10. – С. 10–14.*
11. *Петрушевский, В.В. Производство сахаристых веществ / В.В. Петрушевский, Е.Г. Бондарь, Е.В. Винокурова. – Киев: Урожай, 1989. – 168 с.*
12. *Gnansounou, E. Energy Balance of Bioethanol: A Synthesis [Electronic resource] / E. Gnansounou, A. Dauriat. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/37446371_Energy_balance_of_bioethanol_a_synthesis. – Date of access: 22.04.2021.*



Решение IV международной научно-технической конференции «Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты»

18 сентября 2021 г. в г. Марьина Горка (Республика Беларусь) состоялась IV международная научно-техническая конференция «Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты».

Научная программа конференции предусматривала пленарные заседания, панельные дискуссии и стендовые доклады. Общее число представленных докладов – 28. Большой интерес к конференции, несмотря на пандемию коронавируса, резко ограничившую коммуникативность людей во всём мире, проявили учёные, исследователи и изобретатели из Беларуси, России, Украины, Швеции, Объединённых Арабских Эмиратов, Германии, Испании, Румынии, Китая. В работе конференции приняли участие отечественные и зарубежные представители академических и научных кругов, общественных и коммерческих организаций из Беларуси, России, Украины, США, Канады, Великобритании, Эстонии, Словакии, Объединённых Арабских Эмиратов, Саудовской Аравии, Ганы, Конго.

Конференция проводилась с целью обобщения результатов научных, научно-исследовательских и научно-практических работ, осуществляемых в научных и проектных организациях, конструкторских бюро и инжиниринговых компаниях, а также выполняемых отдельными исследователями и энтузиастами по следующим направлениям:

- решение глобальных биосферных проблем современности геокосмическими средствами;
- перспективы технологического освоения ближнего космоса в рамках программы «ЭкоМир» под девизом: «Земля – для жизни. Космос – для индустрии»;
- организация широкомасштабных грузо-пассажирских потоков по маршруту Земля – Ближний космос – Земля, обеспечивающих функционирование космической индустрии в интересах земной цивилизации;
- принципы создания, конструирование, теория и расчёт транспортно-инфраструктурного геокосмического комплекса – общепланетарного транспортного средства Юницкого (ОТС);
- особенности проектирования, поиск решений биологического и экологического характера для обеспечения устойчивого функционирования земной биосферы и сохранения биоразнообразия на планете Земля, освоения труднодоступных территорий с неблагоприятными условиями для жизни человека;
- специфика создания линейных городов (в том числе экваториального линейного города) в качестве неотъемлемых компонентов коммуникационной сети uNet, основанной на транспортно-инфраструктурных комплексах ЮСТ (скорость – до 600 км/ч) и uMach (скорость – до 1500 км/ч), а также возведения наземной инфраструктуры ОТС и его взлётно-посадочной эстакады;
- реализация программы «ЭкоМир» с целью консолидации усилий мирового сообщества для обеспечения устойчивого развития земной техногенной человеческой цивилизации, а также для коэволюции человека и природы и перезагрузки земной индустрии на биосферный вектор развития.

По итогам IV международной научно-технической конференции «Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты» организационным комитетом и участниками принят ряд решений.

1. Отметить чрезвычайно высокую необходимость дальнейшего продвижения темы широкомасштабного освоения ближнего космоса и перезагрузки земной индустрии на биосферный вектор развития, включая космический.

2. Подчеркнуть значимость геокосмического глобального проекта – общепланетарного транспортного средства – как единственно возможного с инженерной точки зрения, следовательно, ключевого транспортно-логистического решения по индустриальному освоению ближнего космоса и реализации программы «ЭкоМир».

3. Учитывая масштабность и важность 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 реализации программы «ЭкоМир».

4. Отметить, что в настоящее время человечество находится в условиях «цивилизационной социотехногенной развилки», согласно которой у нас действительно есть выбор. Либо через два поколения традиционный вектор техногенного развития приведёт наших детей и внуков к точке невозврата для земной цивилизации в целом, её деградации, угасанию и гибели. Либо мы реализуем программу «ЭкоМир»: вынесем индустрию в ближний космос, решим экологические, экономические и социальные проблемы на Земле и превратим планету в цветущий сад, в котором комфортно и безопасно смогут жить и трудиться 10 млрд человек и более.

5. Обозначить, что в умах миллионов современных людей происходит деструктивное смешение социальных и техногенных цивилизационных понятий (таких, например, как «пределы хозяйственной ёмкости планеты» и «пределы хозяйственной деятельности мировой

капиталистической системы»). В частности, это выражается в насаждаемой мировой псевдоэлитой всему человечеству суицидальной по своей сути программе «5D»: деиндустриализация мировой экономики (через её декарбонизацию) и депопуляция человечества (через его десоциализацию и диджитализацию).

6. Подчеркнуть, что социальные критерии жизнедеятельности земной техногенной человеческой популяции (такие как человечность, нравственность, гуманизм, этика, культура, самопознание, саморазвитие, духовность, совершенствование отношений людей и природы) являются при выборе путей эволюции человечества более важными, чем чисто техногенные цифровые критерии (такие как экономика, деньги, прибыль, инвестиции, экология, инновация, технология и др.). Любая безнравственная и бездуховная цивилизация, которую родит и взрастит любая планета (в том числе и Земля), неизбежно погибнет, если будет нацелена только на безудержный рост экономики. Именно в такой логике существует раковая клетка: рождённая здоровым организмом и тем не менее сориентированная по своим безнравственным (по отношению к этому организму) критериям только на собственный безудержный рост, она вначале уничтожает ограниченные ресурсы своего хозяина, создавая метастазы, а затем убивает его и вместе с метастазами умирает сама. Человечество не должно стать такой раковой клеткой для земной биосферы. Мы, ныне живущие, несём эту ответственность перед нашими потомками, нашими детьми и внуками.

7. Ввести в структуру конференции секцию «Социальные и нравственные критерии техногенного развития цивилизации и индустриального освоения космоса». Это значит, что наша конференция в противовес существующим деструктивным мировым площадкам (таким как Римский клуб и Всемирный экономический форум в Давосе,

пропагандирующим деиндустриализацию, депопуляцию и другие подобные «D» нашей техногенной цивилизации) станет единственной в мире альтернативной платформой. Благодаря ей в белорусской Марьиной Горке не только прозвучит критика навязываемых суицидальных моделей цивилизационного устройства, но и будут разработаны и предложены всему человечеству альтернативные жизнеутверждающие цивилизационные модели развития, такие как:

а) ускоренная индустриализация мировой экономики через инновационные биосферные технологии, в том числе путём вынесения в космос вредной части промышленности;

б) признание естественного роста населения планеты как неизбежного факта на данном этапе цивилизационного прогресса. Мы не намерены соглашаться с какими-либо мерами по депопуляции человечества независимо от региона, континента и уровня развития страны, поскольку понимаем, что наша планета в состоянии «прокормить, одеть и обуть» 10 млрд человек и более;

в) поиск инженерных, экономических и социальных решений, способствующих созданию комфортных, безопасных и устойчивых в течение тысячелетий условий жизни на планете Земля по меньшей мере для 10 млрд человек путём перехода на биосферные экотехнологии в сельском хозяйстве, энергетике, промышленности, на транспорте и расселения людей в линейных экогородах, органично вписанных в естественную живую природу и обеспеченных всем необходимым – органической пищей, родниковой (артезианской) питьевой водой, чистым воздухом, достойной и высокооплачиваемой работой, оздоравливающим отдыхом и нравственными развлечениями;

г) дальнейшее развитие социализации и духовности человеческой цивилизации, отличающейся от иных земных и внеземных цивилизаций (например, дельфинов и искусственного интеллекта, в том числе биоцифрового конвергента) тем, что именно человек в своей плоти, крови и духовности является базовым элементом и фундаментом нашей цивилизации, а также созданной ею земной индустрии. В свою очередь земная индустрия – это базовая ценность именно технологического (инженерного) вектора развития человечества, избранного нашими предками тысячи лет назад, с которого мы не должны (и тем более не обязаны!) сворачивать в угоду кому бы то ни было. Для достижения данной цели необходимо укреплять исторически сложившиеся в течение многих веков традиционные социальные общечеловеческие ценности, такие как семья, социум, культура, религия, язык и др.;

д) обустройство планеты, родившей нас и создавшей в своей биосфере все условия для появления и ускоренного развития (в том числе социального и технологического) земной техногенной цивилизации с 8 млрд человеческих личностей, посредством следующих биосферных методов:

- увеличение естественного плодородия почв на всех континентах и странах, а также перевод мирового сельского хозяйства только на природное органическое земледелие;
- внедрение инженерных технологий (в том числе энергетических), отходом использования которых станет живой плодородный гумус и другие органические компоненты земной биосферы;
- строительство линейных городов, способных обеспечивать себя всем необходимым для жизни, труда и отдыха, причём с приращением площадей плодородных земель на месте возведения таких городов;
- организация экологически чистых и высокоэффективных транспортно-энергоинформационных коммуникаций «второго уровня», созданных на основе Струнных технологий Юницкого, являющихся технологическим фундаментом транспортно-инфраструктурных комплексов – высокоскоростных (ЮСТ) и гиперскоростных (uMach).

8. Рекомендовать компании ООО «Астроинженерные технологии» и создаваемому международному фонду «ЭкоМир» организовать работу по вопросам поддержки и финансирования научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в рамках программы «ЭкоМир», включая проекты «Общепланетарное транспортное средство», «ЭкоКосмоДом», «Космическое индустриальное ожерелье «Орбита», uSpace, «Струнный транспорт Юницкого» (в том числе для использования на земной орбите и других планетах), «Транспортно-инфраструктурная сеть uNet», «Транспортно-инфраструктурный комплекс ЮСТ», «Транспортно-инфраструктурный комплекс uMach», «Линейный город uCity» (в том числе «Экваториальный линейный город») и др. Для данной цели необходимо привлечь различные организационные структуры, независимо от их форм собственности, а также средства частных инвесторов.

9. Для привлечения широкого круга исследователей, занимающихся проблематикой индустриального освоения ближнего космоса, проводить регулярные научные, научно-технические и научно-практические семинары по данному направлению.

10. Отметить высокий научный и научно-технический уровень представленных на конференции докладов.

11. Издать сборник материалов конференции. Участникам, чьи доклады будут опубликованы, оформить свои работы в виде научных статей в соответствии с предъявляемыми требованиями.

12. Очередную V международную конференцию по проблемам безракетного освоения ближнего космоса провести в 2022 г. в Республике Беларусь.

Организационный комитет выражает признательность всем участникам, докладчикам, иностранным гостям, а также финансирующим организациям и частным лицам, благодаря которым конференция состоялась: ООО «Астроинженерные технологии» и ЗАО «Струнные технологии»; Крестьянскому (фермерскому) хозяйству «Юницкого», предоставившему площадку и оказавшему широкое содействие в проведении значимого для всего человечества мероприятия, призванного обосновать и практически показать вектор наиболее устойчивого развития нашей земной техногенной цивилизации в обозримом будущем: «Земля – для жизни. Космос – для индустрии».

Организационный комитет
18.09.2021

Глоссарий: термины и определения, упоминаемые в сборнике

Аббревиатура **ЮСТ (uST)** выступает в качестве центрального бренда группы компаний Юницкого; объединяет в себе наименования технологии Струнного транспорта Юницкого (Unitsky String Technologies), головной инжиниринговой компании ЗАО «Струнные технологии» (Unitsky String Technologies Inc.) и транспортно-инфраструктурных комплексов ЮСТ (uST Transport & Infrastructure Complex / Unitsky String Transport) как физического воплощения транспортно-инфраструктурных решений ЮСТ (uST Transport & 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.

Геокосмическая программа uSpace – программа безракетного освоения ближнего космоса с помощью общепланетарного транспортного средства (ОТС), реализация которой обеспечит сохранение 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 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 экваториального линейного города, 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 и индустриальных 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 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 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 и электрическую энергию.

Пищевая солнечная биоэнергетика (ПСБЭ) – энергетика, основанная на комплексном потреблении и переработке биомассы растений, впитавших энергию Солнца, для получения биотоплива, корма для животных и пищи для человека.

Реликтовая солнечная биоэнергетика (РСБЭ) – энергетика, основанная на применении ископаемых бурых углей и сланцев, для получения чистой энергии и одновременного образования живого гумуса, необходимого для восстановления плодородия различных типов почв.

Стартовая эстакада общепланетарного транспортного средства (uWay) – взлётно-посадочный, энергетический и коммуникационный узел эстакадного типа для геокосмических перевозок, размещённый вдоль экватора и совмещённый с экопоселением нового поколения.

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 «ЭкоДом» (англ. – 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».

Технологическая платформа «ЭкоКосмоДом» (ЭКД) (англ. – EcoCosmoHouse – ECH) – строительство в космосе сооружений с внутренним обитаемым пространством, изолированным от внешней агрессивной космической среды. Внутри ЭКД создана замкнутая экосистема земного типа, включающая искусственно полученную гравитацию, живую плодородную почву, флору и фауну (в том числе микрофлору и микрофауну) и атмосферу с регулируемыми параметрами (температуры, влажности 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 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 (удобрений и средств защиты растений), 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» – это понятие сформулировано Международной комиссией по окружающей среде и развитию при ООН и положено в основу целей и принципов деятельности ООН.

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-пассажирских потоков. 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 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 космического ЭКД в части создания и организации внутреннего пространства и всех соответствующих составляющих (биосферы, технологий, взаимосвязей 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 техногенной земной цивилизации в космическом направлении.

БиоМир – восстановленная и сбалансированная планетарная, открытая в космос биосферная экосистема, включающая земное человечество, 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 пассажирскими потоками 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, аккумулировавшего 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 в Республике Беларусь (г. Марьина Горка).

uMach – концепт гиперскоростного транспортного средства в составе транспортно-инфраструктурного комплекса ЮСТ. Предназначен для передвижения со скоростью выше 1000 км/ч внутри форвакуумного тоннеля (с искусственно сниженным атмосферным давлением) для обеспечения высокоскоростных перевозок на значительные (от 200 км) расстояния.

uTerra – биогумус, производимый из бурого угля, золы, органического сырья, инокулята, аэробных микроорганизмов, используемый для повышения плодородия и улучшения качественных характеристик почв.

Рецензии на сборник материалов IV международной научно-технической конференции «Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты»

Ю.М. Плескачевский,
член-корреспондент НАН Беларуси, доктор технических наук,
профессор, заслуженный деятель науки Республики Беларусь

Прогресс человечества должен начаться с цивилизационной перезагрузки.

Между первой и четвёртой конференциями, посвящёнными вопросам безракетного освоения ближнего космоса,– путь длиною в 33 года. Это время развития предложенной инженером А.Э. Юницким концепции общепланетарного транспортного средства (ОТС) как альтернативы освоению околоземного космического пространства посредством ракет. Его глобальный проект превращён с годами в инженерную разработку такого огромного масштаба, какого мир ещё не знал. Все эти десятилетия А.Э. Юницкий настойчиво, последовательно, методично, всесторонне и с научной точки зрения корректно развивал идею ОТС, создавал творческие коллективы, искал и убеждал инвесторов, реализовывал в разных странах устремлённые в будущее инновации, обосновывал губительность сложившегося технократического пути развития человеческой цивилизации, доказывал перспективность выноса с помощью ОТС всей производственно-технологической инфраструктуры в ближний космос, предлагал и практически внедрял технологии превращения нашей планеты в экологически сбалансированную среду для жизни и процветания человечества.

Каждая из четырёх проведённых А.Э. Юницким конференций, начиная с 1988 г., – заметный этап в направлении системного движения к вышеназванным благородным целям. Не являются исключением и материалы, представленные в данном сборнике.

Исторически важная информация приведена во вступительном слове А.Э. Юницкого. Вновь подчёркнуто, что «технократический вектор развития идёт в тупик». Настоящий прогресс человечества должен начаться с «цивилизационной перезагрузки», и стартовой точкой в этом процессе могут стать рельсо-струнный транспорт и линейные города, построенные вдоль проектируемой экваториальной эстакады ОТС.

Опубликованные в сборнике приветственные слова видных учёных и специалистов ряда стран свидетельствуют о том, что идеи А.Э. Юницкого всё в большей мере овладевают умами и находят всё новых сторонников, способных мыслить масштабно и без политического флёра.

В отличие от предыдущих, данный сборник содержит заметное количество статей, посвящённых анализу пределов развития технократической цивилизации и путей их переоценки. Уместно отметить, что участники четвёртой конференции имели возможность ознакомиться с оригинальной книгой А.Э. Юницкого «Цивилизационная ёмкость космического дома по имени Планета Земля». Самые важные положения этого издания нашли адекватное отражение в рецензируемом сборнике.

Символично, что и А.Э. Юницкий, и его гениальная идея ОТС родились в Беларуси – островке стабильности, человечности и разума на раздираемой противоречиями планете, на которой значительная часть политических лидеров известных государств обезумела и слепо ведёт всех нас к ядерной войне.

Проект масштаба ОТС требует скрупулёзного и научно обоснованного рассмотрения огромного количества материаловедческих, технологических, экологических, финансовых, юридических, политических, космологических, биологических, биохимических, медицинских, агротехнических, энергетических и даже лингвистических аспектов. Всё перечисленное в той или иной мере отражено в сборнике материалов конференции. Изучение его содержания и сопоставление с предыдущими выпусками показывает, как последовательно и многогранно развивается концепция ОТС. Этот анализ демонстрирует достаточно ясное представление автора идеи ОТС А.Э. Юницкого о дальнейших, наверняка, тернистых путях продвижения и осуществления проекта, несущего человечеству надежды на мир, процветание и прогресс на планете Земля и в ближнем космосе.

А.В. Бусел,
доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник РУП «БелдорНИИ»

Результаты данных работ послужат основой для новых открытий в фундаментальной и прикладной науке.

Материалы сборника показывают: современные тенденции развития цивилизации ведут к тому, что созданная человеком техносфера негативно влияет на биосферу планеты Земля. Подобное воздействие обусловлено потребительским отношением к природным ресурсам, которые рассматриваются как источник прибыли. Это приводит к неэффективному использованию человеческого и природного потенциала, провоцирует социальные, экономические и политические конфликты, зачастую переходящие в военную плоскость. Данные проблемы не способствуют поступательному развитию общества, не повышают уровень жизни населения планеты, а становятся причиной противостояния как между людьми, так и между людьми и природой.

В то же время процесс определения и анализа указанных проблем уже позволяет предложить пути их решения. Один из вариантов – структурное преобразование техносферы, которая содержит искусственные технические объекты, изготовленные и используемые человеком (например, промышленность и транспорт, тесно взаимодействующие между собой и являющиеся ключевыми системообразующими элементами).

Исследования А.Э. Юницкого и его единомышленников, опубликованные в сборнике, демонстрируют, что ими избран прогрессивный вектор развития цивилизации. Основные этапы данного направления смогут изменить традиционные и во многом неэффективные процессы производства, транспорта и потребления. Объединение названных элементов в новом формате возможно посредством общепланетарного транспортного средства (ОТС), позволяющего в прямом смысле слова подняться в ближний космос и организовать на околоземной орбите новые эффективные производства для реализации на новом техническом уровне традиционных технологических процессов. При этом земная среда обитания также может получить новое развитие, сосредоточенное на культурном преобразовании всех аспектов жизнедеятельности человека.

Одновременно с этим совместное участие всех государств планеты в глобальном проекте ОТС будет способствовать снижению политической напряжённости между странами, оптимизации экономического взаимодействия, а также стимулированию обмена технологиями и в конечном итоге станет определяющим фактором, направленным на повышение уровня жизни.

Проведённые авторами смелые исследования требуют продолжения и практической апробации на уровне моделей и опытных образцов, позволяющих в будущем осуществить предлагаемый масштабный проект. Возможно, результаты данных работ послужат основой для новых открытий в фундаментальной и прикладной науке.

Именно поэтому задачи, которые ставит перед собой проводимая А.Э. Юницким конференция учёных (инженеров, экологов, биологов, социологов, экономистов, политологов и др.), чьи разработки будут содействовать положительным преобразованиям техносферы планеты и практической доступности космоса, можно считать достигнутыми.

В заключение хочется пожелать авторам и лично А.Э. Юницкому успехов в реализации своих идей и в преодолении всех трудностей, которые могут возникнуть на этом пути, а новым конференциям – состояться и объединить сторонников и критиков для развития науки и технологий на благо планеты Земля.

В.С. Тарасенко,
доктор геолого-минералогических наук, профессор,
заслуженный деятель науки и техники Республики Крым,
президент Крымской академии наук,
председатель Крымской республиканской ассоциации «Экология и мир»

Материалы сборника – это не просто идеи, мечты, рассуждения. Это анализ огромного фактического материала... это дерзкое устремление к звёздам в XXI и последующих веках!

Приветствую выход сборника «Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты» по материалам IV международной научно-технической конференции. Считаю, что это огромное событие для широкой естественно-научной, научно-технической, экологической, философской, образовательной общественности и в целом для интеллектуалов планеты, задумывающихся о её будущем устойчивом развитии.

В представленных статьях проанализированы последствия деятельности современного индустриального и так называемого постиндустриального общества потребления. Сокращаются лесные массивы – лёгкие планеты, происходит истощение земель, утрачивается биоразнообразие, разрушается озоновый слой, меняется климат. Человечество превысило допустимый предел возмущения биосферы, положив начало процессу разрушения естественных сообществ и экологических ниш многих видов и организмов, и вступило на путь неустойчивого развития, ведущий к деградации окружающей природной среды. Пределом экономического роста оказался экологический предел.

Высказанные в XX в. гениальные научно-мировоззренческие идеи, мысли и философско-методологические обобщения академика В.И. Вернадского стали фундаментальной научной основой ноосферного проекта социоприродной эволюции, охватывающей космическую, геологическую, биосферную, антропогенную и социальную эволюцию.

По убеждению великого учёного, общий вектор будущего развития зависит от продуктивности научного разума.

Наш замечательный современник – конструктор, инженер, эколог, философ, натуралист-естествоиспытатель, Человек планеты Земля – А.Э. Юницкий своим многолетним титаническим трудом и ярким прорывом в области струнного транспорта, астроинженерных технологий, безракетного масштабного освоения ближнего космоса с выносом промышленного и даже сельскохозяйственного производства в космическое индустриальное ожерелье «Орбита» – убедительное подтверждение тому, что состояние человеческого разума, экологической культуры и морали является решающим фактором будущей космо-, гео-, био- и социоэволюции.

Материалы сборника – это не просто идеи, мечты, рассуждения. Это анализ огромного фактического материала по состоянию биосферы, техносферы; это представление тенденций развития индустрии человеческой цивилизации; это проведение убедительных расчётов – и на их основе дерзкое устремление к звёздам в XXI и последующих веках!

Лично я воспринимаю А.Э. Юницкого как Прометея нашего нестабильного, полного всевозможных тревог и угроз времени. Планетарно-космическое мышление белорусского учёного, его прорыв в познании мира природы, социума, а также глубина научного обоснования пути устойчивого развития биосферы и цивилизации будут всегда светить человечеству и вдохновлять новые поколения исследователей на служение научной истине и осуществление научного преобразования биосферы в подлинную ноосферу планеты Земля, а в неотдалённой перспективе – в ноосферу ближнего и дальнего космоса.

Уважаемые читатели!

Настоящий сборник подготовлен по итогам IV международной научно-технической конференции «Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты», которая состоялась в г. Марьина Горка 18 сентября 2021 г. Надеемся, представленный в данной книге материал оказался вам полезен.

Свои отзывы, пожелания и предложения направляйте по адресу: conf@ecospace.org.

Дополнительная информация по теме безракетного освоения космоса размещена на электронном ресурсе: www.ecospace.org/ru/conferences.

Организационный комитет конференции
и редакционная коллегия сборника научных материалов

Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы IV международной научно-технической
Б39 конференции, Марьина Горка, 18 сент. 2021 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2022. – 388 с.
ISBN 978-985-7172-73-3.

Материалы сборника отражают тематику и содержание докладов, представленных в рамках IV международной научно-технической конференции «Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты». На конференции 2021 г. рассмотрены пути решения глобальных проблем современности геокосмическими средствами; озвучены принципы конструирования транспортно-инфраструктурного геокосмического комплекса; обозначены особенности проектирования космических поселений с созданием замкнутых экосистем; обсуждены вопросы социального, политического и экономического характера в области безракетной индустриализации ближнего космоса. Сборник содержит работы инженеров, изобретателей, учёных, представителей общественных организаций Беларуси, а также стран ближнего и дальнего зарубежья.

Издание предназначено для специалистов в области геотранспортных коммуникаций, сотрудников органов госуправления, научно-исследовательских институтов, преподавателей и студентов учебных заведений.

Научное издание

БЕЗРАКЕТНАЯ ИНДУСТРИАЛИЗАЦИЯ БЛИЖНЕГО КОСМОСА: ПРОБЛЕМЫ, ИДЕИ, ПРОЕКТЫ

Сборник материалов IV международной научно-технической конференции
(18 сентября 2021 г., г. Марьина Горка)

Редакционная коллегия:
Юницкий А.Э. (главный редактор), Исаев Д.А., Бабаян А.В., Артюшевский С.В., Петров Е.О., Костеневич А.А., Гильманова Л.В., Климков А.В., Авчинникова С.А.

Рецензенты статей:
Сафиуллин А.Р., д. э. н., КФУ (Россия); Кудина Е.Ф., д. т. н., БелГУТ (Беларусь); Ковальчук И.Н., к. т. н., Alasala Colleges (Саудовская Аравия); Пехота А.Н., к. т. н., БелГУТ (Беларусь); Комиссаров В.В., к. т. н., БелГУТ (Беларусь); Пронкевич С.А., к. ф.-м. н., БГУ (Беларусь); Цырлин М.И., к. т. н., БелГУТ (Беларусь); Бочкарёв Д.И., к. т. н., БелГУТ (Беларусь); Коник Ю.А., м. х. н., БГУ (Беларусь); Новицкая М.В., м. х. н., БГУ (Беларусь); Зыгмант А.В., к. х. н., НИИ ФХП БГУ (Беларусь); Шибут А.А., ЗАО «Струнные технологии» (Беларусь); Кушниренко А.В., ООО «Лаборатория цифровых технологий» (Россия).

Рецензенты сборника:
Плескачевский Ю.М., член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, д. т. н., профессор, заслуженный деятель науки Республики Беларусь;
Бусел А.В., д. т. н., профессор, главный научный сотрудник РУП «БелдорНИИ»;
Тарасенко В.С., д. г.-м. н., профессор, заслуженный деятель науки и техники Республики Крым, президент Крымской академии наук, председатель КРАЭМ.

Координаторы: Исаев Д.А., Авчинникова С.А., Лобазова И.Е.

Редакторы, корректоры: Гильманова Л.В., Линевич Т.А., Яковлева К.В.

Дизайн-макет: Луд И.И., Горбунова Н.А.

Компьютерная вёрстка: Луд И.И., Горбунова Н.А., Данильчик Т.А.

Дизайн обложки: Горбунова Н.А.

Визуализации и иллюстрации: Быкова О.Г., Сирый М.И., Кошелев А.Г., Горбунова Н.А.

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 12.05.2022. Формат 60 × 84 1/8. Бумага мелованная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 48,5. Уч.-изд. л. 24,83. Тираж 700 экз. Заказ 1059.

Государственное предприятие «СтройМедиаПроект».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/43 от 03.10.2013.
Ул. В. Хоружей, 13/61, 220123, г. Минск.

Отпечатано в типографии ООО «Поликрафт».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 2/14 от 21.11.2013.
Ул. Кнорина, 50, корп. 4, к. 401а, 220103, г. Минск.

УДК 629.78
ББК 39.6я43
Б39
ISBN 978-985-7172-73-3

© ООО «Астроинженерные технологии», 2022
© ЗАО «Струнные технологии», 2022
© Юницкий А.Э., 2022
© Оформление. Государственное предприятие «СтройМедиаПроект», 2022