

# БЕЗРАКЕТНАЯ ИНДУСТРИАЛИЗАЦИЯ БЛИЖНЕГО КОСМОСА: ПРОБЛЕМЫ, ИДЕИ, ПРОЕКТЫ

# 2022



ООО «Астроинженерные технологии»  
ЗАО «Струнные технологии»

**БЕЗРАКЕТНАЯ ИНДУСТРИАЛИЗАЦИЯ  
БЛИЖНЕГО КОСМОСА:  
ПРОБЛЕМЫ, ИДЕИ, ПРОЕКТЫ**

Сборник материалов  
V международной научно-технической конференции  
(23–24 сентября 2022 г., г. Марьина Горка)

Минск  
«СтройМедиаПроект»  
2023

# Анатолий Юницкий,

автор глобальной программы «ЭкоМир» и её главный инвестор на протяжении 50 лет.  
Председатель оргкомитета международной научно-технической конференции  
«Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты»  
(начиная с 1988 года)

Учёный, инженер, визионер, посвятивший всю свою сознательную жизнь предотвращению глобальной экологической катастрофы и сохранению окружающей биосферной среды для будущих поколений, разрабатывая уникальный транспорт – наземный (струнный транспорт Юницкого) и геокосмический (общепланетарное транспортное средство), а также дружественные биосфере инженерные технологии и биотехнологии.

Предприниматель, построивший мощную инженерную корпорацию с офисами в Республике Беларусь, Российской Федерации и Объединённых Арабских Эмиратах. Команда Анатолия Юницкого состоит из высококвалифицированных конструкторов, технологов, учёных и инженеров – более 1000 специалистов, которые достигли существенных результатов и преуспели в создании и практической реализации транспортно-инфраструктурных и энергетических технологий, урбанистике и сельском хозяйстве.

Автор более 300 научных работ, 20 научных монографий, владелец более 200 патентов и свидетельств на изобретения, промышленные образцы и товарные знаки в сферах строительства, транспорта, машиностроения, электронной и химической промышленности, зарегистрированные в нескольких десятках стран. Свыше 50 изобретений Анатолия Юницкого использованы в производстве во многих странах.



**Антропогенное угнетение биосферы и истощение природных ресурсов достигли такого уровня, что при сохранении текущих темпов роста и развития техносферы мы рискуем передать в наследство нашим внукам безжизненную пустыню, непригодную для существования.**

**Моя программа «ЭкоМир» обоснована и концептуально реализована в исследовательских центрах Беларуси и ОАЭ.**

**Объединив усилия, мы способны переориентировать техносферу Земли на космический вектор цивилизационного развития, устранив таким образом антропогенный фактор угнетения биосферы.**



# Содержание

6

**Вступительное слово Анатолия Юницкого,**  
председателя оргкомитета  
V международной  
научно-технической конференции  
«Безракетная индустриализация  
ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты»

9

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

10

**Приветственное слово Лембита Опика,**  
председателя Парламента  
Космического Государства Асгардия

12

**Приветственное слово Сергея Короткова,**  
директора Центра международного  
промышленного сотрудничества ЮНИДО  
в Российской Федерации

13

**Приветственное слово Игоря Бабичева,**  
академика РАН, доктора юридических наук,  
руководителя аппарата Комитета Государственной Думы  
по региональной политике и местному самоуправлению,  
председателя отделения РАН  
по федеративному устройству,  
местному самоуправлению и местным сообществам

14

**Приветственное слово Геннадия Черепова,**  
члена правления ассоциации «Энергетика  
и гражданское общество», сопредседателя  
Арктического совета Ассамблеи народов Евразии,  
директора Международного арктического саммита  
и представителя Санкт-Петербургской Арктической  
общественной академии наук в г. Москве

16

**Союзное государство России и Беларуси  
как центр перезагрузки нового мира  
на биосферный путь  
цивилизационного развития**  
Юницкий А.Э.

56

**Магнитная система  
силового стабилизирующего узла  
общепланетарного транспортного средства**  
Юницкий А.Э., Лукша В.Л.

64

**Обоснование возможности использования  
водорода в качестве хладагента  
в гиперскоростных транспортных средствах**  
Юницкий А.Э., Гаранин В.Н., Янчук В.В.

74

**Разработка концепции интеллектуальной системы  
непрерывной дистанционной диагностики  
технического состояния путевых структур  
экваториальной эстакады  
общепланетарного транспортного средства**  
Юницкий А.Э., Бочкарёв Д.И., Холодилов О.В.

88

**Перспективы применения  
ауксетичных материалов  
в конструкциях ЭкоКосмоДома**  
Юницкий А.Э., Конёк Д.А.,  
Шилько С.В., Зыль Н.С., Шемет Д.О.

98

**Моделирование левитации  
в электромагнитном поле**  
Попко С.С.

108

**Создание производств в ближнем космосе  
(на примере отраслей добывающей  
и обрабатывающей промышленности)**  
Юницкий А.Э., Артюшевский С.В.,  
Климков А.Г., Климкова О.Э.

120

**Комплексное использование бурого угля  
в реликтовой солнечной биоэнергетике**  
Юницкий А.Э., Василевич В.В., Першай Н.С.

128

**Методология мониторинга  
качества и плодородия почв  
виноградных агроценозов  
на основе мультиспектральных  
космических данных**  
Гришин И.Ю., Тимиргалеева Р.Р.

136

**Использование кровель зданий  
различного назначения  
под размещение оранжерей:  
особенности и оптимальные решения**  
Юницкий А.Э., Давыдик М.М., Зыль Н.С.

---

152

**Применение электрогидравлического эффекта для обеззараживания сточных вод в условиях проживания людей в космосе**  
Юницкий А.Э., Першай Н.С., Буглак П.А., Лобазова И.Е., Арнаут С.А.

---

162

**Анализ причин усадки шумо- и теплоизоляционных нетканых полотен и разработка мероприятий по её предупреждению**  
Лукьянова Е.Л.

---

170

**Определение ключевых параметров технологического освещения для растений**  
Юницкий А.Э., Павлюченко А.М., Зыль Н.С., Налетов И.В., Пятакова Т.И., Заяц В.С.

---

178

**Применение микроклонального размножения растений в условиях ЭкоКосмоДома**  
Заяц В.С., Налетов И.В.

---

186

**Каллусогенез как альтернативный способ получения биологически активных веществ в замкнутой экосистеме**  
Налетов И.В., Заяц В.С.

---

194

**Принципы создания генетического банка живых организмов для длительного существования замкнутой экосистемы**  
Пятакова Т.И., Налетов И.В.

---

204

**Проживание в ЭкоКосмоДоме как способ предупреждения преждевременного старения организма**  
Бойко К.А., Шемет Д.О.

---

214

**Аптечная косметика для жителей ЭкоКосмоДома: мировые тренды, инновационные компоненты, особенности производства**  
Шемет Д.О., Зыль Н.С., Корней В.В.

---

224

**Инновационные и традиционные способы приготовления и сохранения натуральной пищи в ЭкоКосмоДоме**  
Юницкий А.Э., Конёк Д.А., Зыль Н.С., Корней В.В.

---

234

**Количественная оценка углеродного баланса сообществ автотрофов и гетеротрофов в прототипе замкнутой экосистемы**  
Павлюченко А.М., Налетов И.В., Пятакова Т.И., Заяц В.С.

---

242

**Выращивание мицелия базидиальных грибов на органических субстратах в условиях замкнутой экосистемы**  
Буглак П.А., Заяц В.С., Налетов И.В.

---

250

**Перспективные составы и способы производства лёгких почвогрунтов для ЭкоКосмоДома**  
Юницкий А.Э., Зыль Н.С., Парфенчик М.М., Павлюченко А.М., Конёк Д.А.

---

262

**Особенности заключения международного договора о реализации геокосмической программы uSpace**  
Казакевич А.П.

---

270

**Искусственный интеллект и отчуждение человека от разума: причины, механизмы, последствия**  
Юницкий А.Э., Петров Е.О.

---

282

**Правовые аспекты использования искусственного интеллекта при реализации геокосмической программы uSpace**  
Юницкий А.Э., Горбунов М.С.

---

296

**Космос, образование и экономика в XXI в.: кибернетический подход**  
Потеряйко А.Ю.

---

304

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

---

308

**Глоссарий: термины и определения**

---

312

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

# Вступительное слово Анатолия Юницкого,

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



Дорогие друзья, коллеги, партнёры!

Мне выпала большая честь приветствовать участников юбилейной V международной научно-технической конференции «Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты».

По доброй традиции мы собрались здесь, на территории бывшего танкового полигона, а сегодня живописного природного оазиса – экопарка «Акварель», чтобы рассмотреть вопросы развития земной техногенной человеческой цивилизации, т. е. нашего с вами будущего. Конференция является уникальной площадкой, где мы в форме открытого живого диалога имеем возможность обсудить и выработать пути решения проблем, вызванных тектоническими изменениями, происходящими в мире.

Так называемые «мировые элиты», хотя их никто не избирал и не назначал, лоббируют деиндустриализацию и декарбонизацию глобальной экономики, что неизбежно приведёт к сокращению численности земного населения. Таким образом, защищая свои интересы, эти квазиэлиты наносят колоссальный ущерб развивающимся экономикам и человечеству в целом, вплоть до программирования самоликвидации нашей технократической цивилизации в обозримом будущем.

Однако я вижу другой путь – путь созидания, т. е. биосферный технологический, основой которого станет экологическая и социальная устойчивость развития всех стран и народов, а не только так называемого «золотого миллиарда». И здесь ключевую роль сыграют обладающие колоссальным ресурсным и интеллектуальным потенциалом Россия и Беларусь, объединившиеся в Союзное государство.

О необходимости углублённой промышленной и социальной кооперации наших держав говорится уже не один год. Тема постоянно обсуждается на встречах президентов; правительствами созданы профильные рабочие группы, которые определяют конкретные точки соприкосновения. Ввиду нынешней особой геополитической ситуации в мире интеграция братских стран вышла на принципиально новый уровень.

Лишь реально объединившись, Россия и Беларусь смогут успешно противостоять внешнему давлению и тем самым нивелировать все его негативные последствия. Положительный результат в данном случае возможен только при условии существенного пересмотра государственных подходов в области кредитно-денежной политики, а также смены приоритетов в инфраструктурном и технологическом развитии. На первый план должны быть выведены

системообразующие инфраструктурные отрасли, которые в максимальной степени смогут содействовать подъёму экономики Союзного государства и позволят ему в течение одного поколения занять лидирующие позиции в мире.

Убеждён, что таковыми способны стать биосферные отраслеобразующие технологии, созданные и развиваемые международной группой компаний Юницкого:

- 1) безотходная реликтовая солнечная биоэнергетика на бурых углях и сланцах – uEnergy;
- 2) биосферное сельское хозяйство, полностью органическое, на основе живого гумуса uTerга;
- 3) строительство пешеходных линейных городов uCity, состоящих из самообеспеченных жилых, промышленных и многофункциональных кластеров;
- 4) транспортно-инфраструктурные комплексы ЮСТ на базе Струнных технологий Юницкого, что позволит создать высокоэффективную и экологически чистую транспортную отрасль нового поколения.

Пришло время реализовать перезагрузку на биосферный путь цивилизационного развития. Её стартовой площадкой станет строительство первых адресных проектов в рамках формирования принципиально новой общепланетарной эконоинфраструктуры – рельсо-струнного



**Лишь реально объединившись,  
Россия и Беларусь  
смогут успешно противостоять  
внешнему давлению  
и тем самым нивелировать  
все его негативные последствия.**

транспорта «второго уровня», линейных экогородов uCity, а также реликтовых солнечных экиобиоэлектростанций, промышленным отходом которых будет высокоплодородный биогумус.

Каждое из предлагаемых решений научно обосновано и концептуально реализовано международной группой компаний Юницкого, в первую очередь – головной инженеринговой и научной организацией ЗАО «Струнные технологии», находящейся в Беларуси. Сегодня, в рамках конференции, во время дискуссий мы подробно познакомим вас с ними.



## Приветственное слово Хуссейна Аль Махмуди,

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



Мы также обсудим вопросы технологического прогресса в различных областях науки, техники и социума – от естествознания и расчётов технически сложного оборудования до философских и социальных проблем, которые неизбежно возникнут в связи с вынесением созданной человечеством техносферы за пределы взрастившей её биосферы.

Разумная цивилизация способна разумно распорядиться ограниченными земными ресурсами. Она сумеет найти решения, как переместить вредную часть индустрии из живой биосферы в космическое пространство, и должна успеть исполнить эту важную миссию до наступления точки цивилизационного невозврата, когда что-то изменить будет уже слишком поздно.

Нам надо начать мыслить и действовать в глобальных масштабах. К середине XXI в. следует осуществить индустриализацию ближнего космоса. Ресурсов Солнечной системы достаточно, чтобы удовлетворить все технологические запросы человечества на миллионы лет вперёд. Пока не поздно, необходимо избрать биосферный путь устойчивого развития нашей техногенной цивилизации в логике «Земля – для жизни. Космос – для индустрии».

Я хочу поблагодарить всех участников и гостей конференции, среди которых известные учёные, общественные

деятели, ведущие инженеры-конструкторы, лидеры мнений, лётчики-космонавты и испытатели, приехавшие к нам из государств Евразийского региона, Европейского союза, а также из Объединённых Арабских Эмиратов, Великобритании и других стран мира. Убеждён, что столь представительный состав экспертов позволит провести детальный анализ существующих и будущих проблем, наметить пути их решения, включая активизацию интеграционного взаимодействия. Желаю всем плодотворной работы!

V международная научно-техническая конференция «Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты» объявляется открытой.



**Пока не поздно, необходимо избрать биосферный путь устойчивого развития нашей техногенной цивилизации в логике «Земля – для жизни. Космос – для индустрии».**

Я, Хуссейн Аль Махмуди, признателен доктору Анатолию Юницкому за приглашение произнести приветственную речь.

Исследование космоса является ключевым фактором промышленного и экономического роста. В связи с этим правительство ОАЭ недавно запустило космическую программу, основная задача которой заключается в разработке новых подходов к решению проблемы изменения климата. Используя экономический потенциал марсианской и космической программ ОАЭ, мы вместе с академическими кругами, частным сектором и правительством стремимся создать экосистему, которая будет содействовать становлению человеческой деятельности в околоземном пространстве.

Кроме того, одна из целей Научно-исследовательского технологического и инновационного парка Шарджи – развитие человеческого потенциала. Реализация космической программы позволит вырастить таланты – будущих лидеров и учёных, способных преодолевать проблемы, связанные с экологическим воздействием. Мы также надеемся в рамках данного проекта предложить изобретения и технологии, которые помогут не только спасти нашу планету, но и сделать её более самодостаточной и устойчивой.

Уверен, что благодаря конференции, проводимой в Беларуси, многие компании совместно с новаторами, учёными и студентами станут разрабатывать, продвигать и воплощать

концепции, призванные защитить Землю от экологических проблем, в том числе от последствий человеческой деятельности, наносящей вред всему миру. Сегодняшнее мероприятие – отличный шанс поделиться друг с другом передовым опытом, чтобы понять, каким образом лучше подойти к такому важному вопросу, как охрана окружающей среды.

Ещё раз благодарю доктора Анатолия Юницкого за его глобальный труд и создание таких научных платформ, как данный форум, которые позволяют учёным и всем заинтересованным сторонам взаимодействовать, обсуждать и сообща устранять проблемы, находить идеи, делающие нас лучше и успешнее. Спасибо за эту возможность!



**Реализация космической программы позволит вырастить таланты – будущих лидеров и учёных, способных преодолевать проблемы, связанные с экологическим воздействием.**

# Приветственное слово Лембита Опики,

председателя Парламента  
Космического Государства Асгардия



Я – Лембит Опик, председатель Парламента Асгардии, первой в мире космической державы и полностью функционирующей цифровой демократии.

До конца текущего года НАСА планирует запустить свою миссию «Артемида-1» на Луну. Поистине впечатляет работа, проделанная аэрокосмическим агентством, чтобы привнести самые передовые технологии в проект, на создание которого ушло 50 лет. Тем не менее речь здесь всё ещё идёт о традиционных способах освоения околоземного пространства, в то время как план доктора Анатолия Юницкого относительно общепланетарного транспортного средства (ОТС) представляет собой качественно новый подход к разработке чего-то важного и устойчивого для всех, а не лишь для отдельных личностей. Я бы сказал, что ОТС отличается от стандартной ракетной технологии настолько, насколько бомбардировщик «Виккерс Вими», совершивший первый в истории трансатлантический перелёт, отличался от «Конкорда», созданного полвека спустя.

Многих беспокоят технические и экологические последствия того, что мы делаем с Землёй. Неважно, верите вы или нет, что люди наносят ущерб климату, всем ясно: если мы хотим существовать как вид и процветать в течение столетий или тысячелетий, то должны выйти в космос.

Его освоение поможет сохранить драгоценные ресурсы нашей родной планеты и уменьшить глобальное влияние, которое индустриальное общество неизбежно оказывает на экологию, ведь с его развитием неизбежно растёт потребность в энергии.

Такие проблемы можно решить с помощью ОТС. Однако это сложнейшая задача, поскольку предложенный Анатолием Юницким геокосмический летательный аппарат основывается не на традиционных ракетных технологиях, а на гораздо более вдохновляющем качественном изменении наших подходов к использованию пространства.

Считаю, что ОТС является жизненно важным изобретением, если посмотреть на историю человечества через многие тысячи лет. Тем не менее нам не понадобится столько времени, чтобы провести индустриализацию космоса без применения ракет. И в этом смысл проведения конференции.

Здесь собрались люди, которые в состоянии сообща значительно ускорить данный процесс и, по сути, заново изобрести способы выхода в околоземное пространство, его заселения и организации жизни в нём. Безракетная индустриализация ближнего космоса – это необходимый и существенный компонент нашего движения вперёд как вида и даже как формы жизни на этой планете.

Много раз говорилось: если не изменить отношение к происходящему на Земле, то человечество прекратит своё существование. Следовательно, каждый из нас морально обязан внести свой вклад в дело, которое доктор Анатолий Юницкий продвигал долгое время и которое мы вместе способны воплотить в жизнь.

Асгардия непоколебимо верит, что в космосе можно и нужно рожать детей, в противном случае нам никогда не вырваться из земной среды. Мы также считаем, что общество, которое Асгардия пытается организовать, идеально соответствует видению доктора Анатолия Юницкого и участников конференции относительно дальнейшего развития цивилизации. Переселяясь в другое пространство, мы хотим основать новое мирное государство в космосе, делая всё возможное, чтобы уменьшить бремя, которое возлагаем на Землю.

От имени Асгардии я выражаю признательность за создание технологий, необходимых для построения прогрессивного общества. Уверен, что коллективно мы способны сформировать безракетную среду для индустриализации ближнего космоса, которая принесёт пользу не только вовлечённым в эту задачу людям, но и всему человечеству.

Благодарю, что дали возможность поделиться с вами этими мыслями.

С нетерпением жду продолжения сотрудничества. Хотелось бы в следующем году лично присутствовать на конференции. Надеюсь, что смогу внести свой вклад в продвижение идеи создания ОТС.

Примите мои поздравления по случаю очередной встречи!



**Безракетная индустриализация ближнего космоса – это необходимый и существенный компонент нашего движения вперёд как вида и даже как формы жизни на этой планете.**



## Приветственное слово Сергея Короткова,

директора Центра международного  
промышленного сотрудничества ЮНИДО  
в Российской Федерации



## Приветственное слово Игоря Бабичева,

академика РАЕН,  
доктора юридических наук,  
руководителя аппарата  
Комитета Государственной Думы  
по региональной политике  
и местному самоуправлению,  
председателя отделения РАЕН  
по федеративному устройству,  
местному самоуправлению  
и местным сообществам



Уважаемые коллеги, дорогие друзья!

От имени Организации Объединённых Наций по промышленному развитию (ЮНИДО) рад приветствовать вас на V международной научно-технической конференции «Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты».

Сегодня перед миром стоит множество задач, от решения которых зависит наше будущее. Среди них – проблемы глобального потепления, спасения лесов и Мирового океана от последствий деятельности человека, а также вопросы перехода на альтернативные источники энергии, развития промышленности, использующей экологически чистые и ресурсосберегающие технологии.

ЮНИДО активно поддерживает проекты и программы, направленные на реализацию целей в области устойчивого развития, провозглашённых в 2015 г. Генеральной ассамблеей ООН, в частности цели 9 «Создание стойкой инфраструктуры, содействие всеохватной и устойчивой индустриализации и инновациям».

Индустриализация – наиболее значимый движущий фактор достижения процветания человечества и всеобщего благосостояния. Нет ни одной страны в мире, которая добилась бы высокой степени экономического и социального развития без совершенствования промышленного сектора.

Тем не менее эти трансформирующие структурные изменения зачастую сопровождаются ухудшением состояния окружающей среды и увеличением неравенства в обществе.

Цели ООН призваны стать базисом интеграции экономического, социального и экологического аспектов, необходимым для полной реализации устойчивого развития на благо последующих поколений. Однако данный процесс невозможен без разработки и внедрения инновационных инженерно-технических решений и участия людей, которые видят мир глазами мечтателей, думающих о лучшем будущем для потомков.

Рад быть здесь, среди мечтателей и предпринимателей – тех, благодаря кому такие изменения осуществимы. Считаю, что индустриальное освоение космоса и целенаправленная деятельность в рамках международной платформы «ЭкоМир» могут стать важной частью концепции устойчивого развития, а результаты, достигнутые в ходе изучения космического пространства, будут применимы на мировом уровне.

Желаю участникам юбилейной конференции интересной и плодотворной работы, полезных встреч и успешного осуществления задуманных проектов!

Уважаемые коллеги, друзья!

Приветствую вас на V международной научно-технической конференции «Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты» не только от своего имени, но и от имени нашей делегации. Мы представляем Российскую академию естественных наук, занимающуюся региональным и местным саморазвитием, а также Федеральный народный совет, отвечающий именно за конструирование общественного, социального и экономического будущего. Наша деятельность созвучна с задачами, которые решает Анатолий Юницкий со своей командой, поэтому желаем всем участникам научного форума, а также нашим странам, Союзному государству России и Беларуси широкого технологического движения, социального прорыва.

Мы живём в переломное время, именно сегодня мы обязаны задуматься о судьбе нашей планеты – обозначить путь, по которому пойдут последующие поколения. Тем самым мы спасём Землю, превратим её в цветущий сад и обеспечим нашим детям более доброе, более комфортное и более светлое будущее.

Всем успехов в достижении данной цели!



**Мы живём в переломное время,  
именно сегодня мы обязаны  
задуматься о судьбе нашей планеты –  
обозначить путь, по которому пойдут  
последующие поколения.**

## Приветственное слово Геннадия Черепова,

члена правления ассоциации  
«Энергетика и гражданское общество»,  
сопредседателя Арктического совета  
Ассамблеи народов Евразии,  
директора Международного  
арктического саммита  
и представителя Санкт-Петербургской  
Арктической общественной  
академии наук в г. Москве



Уважаемые участники и гости V международной научно-технической конференции «Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты»!

От имени ассоциации «Энергетика и гражданское общество», Арктического совета Ассамблеи народов Евразии и дирекции Международного арктического саммита искренне приветствую вас на этой уникальной площадке по обсуждению технологий освоения околоземного пространства без применения ракет.

Сегодня в центре внимания – поиск идей и решение актуальных задач социального, биологического и инженерного характера для осуществления индустриального выхода земной цивилизации в космос, а значит, для спасения нашей Голубой планеты.

Желаю плодотворной работы и успехов в достижении намеченных целей!



**Сегодня в центре внимания –  
поиск идей  
и решение актуальных задач  
для осуществления  
индустриального выхода  
земной цивилизации в космос,  
а значит, для спасения  
нашей Голубой планеты.**



# Союзное государство России и Беларуси как центр перезагрузки нового мира на биосферный путь цивилизационного развития

УДК 339+629

Юницкий А.Э.,  
доктор философии транспорта

ООО «Астроинженерные  
технологии»,  
г. Минск, Беларусь

ЗАО «Струнные технологии»,  
г. Минск, Беларусь



Основной предпосылкой к созданию Программы перезагрузки экономики Союзного государства России и Беларуси на биосферный путь цивилизационного развития (далее – Программа) является наличие глобальных проблем в действующих моделях цивилизационного устройства и деструктивная направленность их технологического и социального развития. Господствующие «мировые элиты» (более правильно называть их псевдо- или квазиэлитами – они ведь самозванцы и самоназначенцы, так как никто их в мировые элиты не избирал, не назначал и не принимал) лоббируют повышение управляемости людьми и сокращение человеческой популяции, в том числе через деиндустриализацию и декарбонизацию мировой экономики. Тем самым, защищая свои клановые интересы, эти так называемые «элиты» наносят ущерб развивающимся экономикам и человечеству в целом, вплоть до программирования самоликвидации нашей индустриальной цивилизации в обозримом будущем.

В противовес данным сценариям цивилизационного развития предлагается биосферный технологический путь с центром сил не на Западе и Востоке, а в Союзном государстве России и Беларуси, с опорой на собственные элиты. В целях укрепления и развития Союзного государства были системно проанализированы следующие глобальные проблемы современности:

- загрязнение окружающей среды и земной биосферы в целом;
- локальные и глобальные изменения климата;
- государственная и цивилизационная безопасность – ресурсная, технологическая, инфраструктурная, транспортная, энергетическая, продовольственная, медицинская, культурная, социальная, образовательная, информационная, психологическая и др.

Рассмотрение проблем и возможностей их преодоления с позиций России – основы Союзного государства – обуславливается не только её влиянием на все происходящие цивилизационные процессы как евразийского государства с огромной территорией, но и как государства, обладающего колоссальным ресурсным и интеллектуальным потенциалом.

Предлагаемая Программа не ограничивается рамками Союзного государства и состоит из следующих биосферных инженерных технологий:

- реликтовая солнечная биоэнергетика (РСБЭ);
- биосферное сельское хозяйство;
- строительство пешеходных линейных городов кластерного типа;
- транспортно-инфраструктурные комплексы «второго уровня» – Струнный транспорт Юницкого (ЮСТ);
- безракетная индустриализация ближнего космоса.

Каждое из предлагаемых решений научно обосновано и концептуально реализовано в исследовательских центрах (расположены в Республике Беларусь и Объединённых Арабских Эмиратах), входящих в международную группу компаний Unitsky Group of Companies (UGC), созданных инженером А.Э. Юницким.

Претворение в жизнь Программы – даже в рамках Союзного государства, без участия других стран на первых этапах реализации – позволит выйти из социального, экономического, экологического и ресурсного кризисов, в которых оказалось современное человечество.

Подробное описание шагов реализации Программы даёт возможность убедиться в реальности преобразования существующей капиталистической системы без революционных потрясений, с созданием нового мирового центра сил именно в Союзном государстве.

Рассмотренный эффект для России и Беларуси от перезагрузки на биосферный путь цивилизационного развития убеждает нас в правильности выбора данного направления, способного в существующих реалиях спасти технократическую земную цивилизацию от деградации, угасания и гибели.

Расчётный бюджет Программы наглядно показывает её сопоставимость с принятыми, но менее эффективными государственными программами развития отдельных отраслей: предлагаемая Программа охватывает все значимые отрасли жизнедеятельности как отдельных граждан, так и региональных социумов и государства в целом.

В выводах подробно рассматривается создание общемировой транспортно-инфраструктурной сети uNet, совмещённой с энергетикой, IT-отраслью и сельскохозяйственным производством, как базового инструмента осуществления Программы перезагрузки мировой экономики на биосферный путь цивилизационного развития, которая предоставит России и Беларуси реальную возможность стать мировыми лидерами и великими государствами в течение одного поколения.

Перезагрузка экономики Союзного государства предусматривает реализацию программы uSpace как элемента, обеспечивающего переход земной техногенной цивилизации на космический вектор технологического развития и масштабную индустриализацию космоса на основе технологии безракетного геокосмического транспорта – общепланетарного транспортного средства (ОТС), расположенного в плоскости экватора. В данном контексте политические и общественные институты Союзного государства могут выполнить консолидирующую функцию не только для государств экваториального пояса планеты, но и для стран-участниц с высоким экономическим и научно-техническим потенциалом. Это обеспечит реализацию глобального проекта по улучшению качества жизни как отдельных людей, так и человечества в целом, без ограничений по численности народонаселения и без ущерба для общепланетарной окружающей среды – земной биосферы.

Россия и Беларусь вместе с многонациональным народом Союзного государства ещё раз докажут своё величие и особую цивилизационную роль в мире, подтверждая пророческие слова о Москве как о «Третьем Риме, который стоит» и о «Четвёртом Риме, которому не бывать».

***Ключевые слова:** биосферный путь цивилизационного развития, вертикальная теплица, геокосмическая программа uSpace, «горизонтальный небоскрёб», загрязнение окружающей среды, изменение климата, линейный город uCity, общепланетарное транспортное средство (ОТС), реликтовая солнечная биоэнергетика (РСБЭ), транспортно-инфраструктурные комплексы.*

## Введение

Основной целью настоящей работы является продолжение исследований по развитию и детальной проработке социотехнологического пути по цивилизационному выходу из сложившегося на планете критического положения.

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».

Государство как политический институт призвано защищать своих граждан от внутренних и внешних угроз. Для этого в его распоряжении есть всё необходимое. Ниже достаточно подробно будет рассказано об инновациях, при помощи которых возможно:

- интенсифицировать развитие нашей земной индустриальной цивилизации в созидательном направлении;
- решить все экологические и социальные проблемы человечества 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 человеческое.

Однако сначала необходимо сказать несколько слов об античеловеческих планах, которые озвучивают упомянутые выше квазиэлиты.

Войны, экономические и социальные кризисы, ускоренный рост потребления ставят под угрозу базовые ценности нашей цивилизации и само наше будущее. Всё более очевидно, что человечество в очередной раз зашло в тупик.

В качестве решения всех земных проблем одни предлагают освоить Марс, другие – сократить численность мирового населения до «золотого миллиарда». Кроме того, сегодня нам не просто рекомендуют, а жёстко навязывают эти программы. Вспомним хотя бы известный коронавирус. Как бы ни старались преподнести его в качестве некоего мегастихийного бедствия – всем очевидно: это не так.

**Во-первых**, ясно, что пандемия – результат негативного воздействия человека на природу, безмерного и бездумного потребления. Привести пример легко: считается, что вирус перешёл к людям от животных. Главными виновниками, по одной из версий, считаются панголины.

У китайских гурманов – сытых и даже пресыщенных людей – на этих животных традиционно высокий спрос, из-за которого панголины оказались на грани вымирания. Как все мы понимаем, речь давно не идёт о голоде: мясо панголина – предмет роскоши, элемент элитарного потребления [1].

В настоящее время на Земле, по некоторым оценкам, насчитывается около триллиона видов живых организмов, среди которых описано лишь 1,75 млн (0,000002 %) [2, 3]. Из-за действий человека ежедневно более 70 видов погибают; ежегодно – около 26 000. Масштаб негативного влияния на окружающую среду с каждым годом только увеличивается, заставляя планету просто защищаться от агрессивных действий людей.

**Во-вторых**, тот образ жизни, которого мы сегодня придерживаемся, делает человека основным виновником возникновения пандемий.

Массовое плотное заселение в городах, когда огромное количество людей находится в тесном контакте друг с другом; использование устаревших транспортных систем, где перевозки предполагают большое скопление пассажиров одновременно, – всё это только усугубляет проблему распространения вирусов.

Фастфуд, добавление в пищевые продукты новых ингредиентов (подсластители, антислёживатели, разрыхлители, ГМО и др.), а также менее активный образ жизни приводят к ослаблению иммунитета и, как следствие, к различным заболеваниям [4, 5]. Продуманный маркетинг и сопутствующая реклама пытаются продать нам как можно больше новомодных пищевых добавок, говоря об их целебных свойствах и пользе для организма. А ведь наш иммунитет не в силах заменить ни одно из разработанных человеком лекарственных средств, в том числе принимаемых в виде вакцин и прививок. Не пытаясь разобраться с причиной, а всего лишь борясь с последствиями болезней, мы в очередной раз становимся удобной мишенью для рекламодателей и неиссякаемым источником их прибыли.

Если заглянуть в историю, можно обнаружить, что все войны и экономические проблемы XX в. возникли из-за скупности людей и их неуёмного желания потреблять как можно больше. В результате обостряется борьба за ресурсы и сферы влияния. И эта борьба – один из базовых элементов капиталистической системы, полностью 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 [6]. В этом сходится большинство экспертов-экономистов. Соответственно, возникает запрос на реформу капитализма,

поскольку альтернативные модели (например, социализм) глобальными квазиэлитами не принимаются. Ведь это капиталистические элиты. Они не могут отказаться от самих себя.

Исторически кризисы эксперты связывают с перепроизводством продукции [6]. Исходя из этой логики, их можно избежать, изменив характер производства и потребления. Прежде чем исследовать, как именно квазиэлиты намерены обустроить новый мир, давайте кратко рассмотрим, как всё это происходит сейчас.

Работник изготавливает товар, получает плату за свой труд. Добавочная стоимость остаётся предприятию, чтобы затем израсходовать её на развитие производства, собственные нужды и нужды государства в виде налогов. Однако цель любого производства – увеличение прибыли. Соответственно, с одной стороны, нужно оптимизировать технологические процессы и уменьшить стоимость труда, с другой – увеличить количество выпускаемой продукции.

Получается, что объёмы производства всё время должны нарастать, а относительная плата за труд – уменьшаться. Кто является наиболее массовым покупателем продукции? Наёмные работники. Если они меньше получают, то меньше и купят. А товаров, услуг и сервисов с каждым днём предлагается всё больше и больше. Как результат – избыток продукции, которая оказывается никому не нужной. И тогда производитель вынужденно идёт на сокращение штата, остановку конвейера и минимизацию производственных расходов.

Экономика впадает в кризис. Одни производители банкротятся, другие оптимизируют производства, цены на накопившиеся излишки падают, переполненные до отказа склады постепенно пустеют. И снова возникает спрос, превосходящий предложение. Всё повторяется на новом витке развития. Война или пандемия, кстати, могут существенно сгладить ситуацию, так как за короткое время создаются новые рынки сбыта, рабочие места, появляется 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.

### Проблемы и предпосылки перехода к новой посткапиталистической экономике

В настоящее время в мире обострились проблемы, связанные с кризисом западноевропейской модели

капитализма [7], а также либеральных и неолиберальных доктрин как социополитического продолжения господствующей экономической и технологической модели цивилизационного устройства.

В качестве реакции на обозначившийся кризис западноевропейские и североамериканские властные институты и квазиэлиты активно продвигают программы, направленные на искусственное сдерживание индустриального развития мировой экономики, в то время как именно индустрия является базовой цивилизационной технологической платформой всего современного человечества. Эта индустриальная технологическая платформа создавалась инженерами и учёными всего мира в течение последних сотен лет. Однако если точку отсчёта индустриального времени установить от изобретения колеса (положившего начало созданию транспорта), то на формирование земной индустрии ушло около 10 000 лет, а если от изобретения костра (положившего начало всем теплотехническим технологиям, причём не только приготовлению пищи на огне, но и в последующем – металлургии, двигателестроению, энергетике и др.), – то и вообще сотни тысяч, если не миллионы, лет.

Так называемые «мировые элиты» не просто предлагают, а жёстко навязывают всей нашей земной технократической цивилизации, неотделимой частью которой они сами и являются, проекты по деиндустриализации экономики (через её декарбонизацию), а также по десоциализации и депопуляции человечества (через деиндустриализацию и диджитализацию) с целью повышения управляемости людей и планомерного ускоренного сокращения мирового народонаселения.

В первую очередь данные программы наносят ущерб так называемым «развивающимся экономикам» и в то же время служат интересам «развитых стран» и базирующихся в них глобальных транснациональных корпораций.

На этом фоне обостряется геополитическое противостояние в глобальном масштабе. С одной стороны, США и их партнёры пытаются навязать всем остальным странам свою модель мирового устройства, предполагающую господство корпораций, стирание территориальных границ и поэтапное снижение роли национальных государств во всех сферах общественной жизни и хозяйственной деятельности, вплоть до упразднения государств и передачи их функций глобальным корпорациям. С другой стороны, возникают альтернативные центры сил, отстаивающие свои интересы и суверенитет [8]. Среди них в геополитическом смысле Союзное государство России и Беларуси играет ключевую роль.



В конце мая 2022 г. после долгого перерыва, связанного с пандемией COVID-19, в очном формате состоялся Всемирный экономический форум в Давосе. Впервые за 35 лет в нём не приняла участие Российская Федерация. Беларусь также не присутствовала на мероприятии.

Исключение представителей стран Союзного государства из числа делегатов одного из крупнейших и ведущих в мире форумов связано со спецоперацией России на территории Украины. Вместе с тем военные действия, их причины и последствия заявлены в качестве основной темы мероприятия. Западные эксперты в ходе обсуждения ситуации обозначили, что будут продолжать поддерживать Украину и помогать её восстановлению. Украинский лидер Владимир Зеленский призвал к «максимально жёстким» санкциям, для того чтобы остановить «агрессию» России. В числе предложений – нефтяное эмбарго, блокирование всех банков, полный уход европейских компаний с российского рынка и прекращение торговли. Для Украины он просил финансовой и военной помощи в размере 5 млрд USD в месяц.

Исполнительный директор Всемирной продовольственной программы Организации Объединённых Наций Дэвид Бисли обратил внимание на блокировку поставок зерна и высказал мнение, что «неспособность открыть порты является объявлением войны глобальным продовольственным системам» [9]. По его словам, если продовольственные поставки останутся вне рынка, мир может столкнуться с проблемой доступности зерна в ближайшие 10–12 месяцев, и «это будет ад на земле».

Глава НАТО Йенс Столтенберг назвал специальную военную операцию «переломным моментом» как для европейской безопасности, так и для более «широкого международного порядка». Кроме того, он добавил, что за последние месяцы был «разрушен мир в Европе». Политик утверждал, что «свобода важнее свободной торговли», и призвал лидеров бизнеса к защите общих ценностей. Столтенберг предупредил: игнорирование угрозы со стороны авторитарных режимов «подрывает безопасность» [9].

Выступая на форуме, председатель Европейской комиссии Урсула фон дер Ляйен заявила, что специальная военная операция в Украине поставила под сомнение «весь международный порядок». Вместо того чтобы решать проблему изменения климата и формирования глобальной экономики, «мы должны тратить время на борьбу с последствиями конфликта».

По словам канцлера Германии Олафа Шольца, российское правительство «хочет возвращения к мировому порядку, в котором сила диктует, что правильно; в котором

свобода, суверенитет и самоопределение не для всех. Это империализм. Это попытка вернуть нас в то время, когда война являлась общим инструментом политики, когда наш континент и мир были без стабильного мирного порядка. Путин недооценил единство и энергию, с которыми G7, НАТО и ЕС ответят на его агрессию. Работая вместе, мы ввели санкции, которые считаются более жёсткими и далеко идущими, чем любые ранее введённые в отношении страны размером с Россию» [9].

Так называемое «европейское сообщество» продемонстрировало исключительную, до настоящего дня не свойственную ему сплочённость в восприятии «общего врага» и борьбе с ним. Маловероятно, что подобное отношение к России и Союзному государству в целом в ближайшее время может быть существенно изменено. Это означает необходимость поиска новых путей развития. Ключевыми задачами здесь становятся импортозамещение, т. е. технологическая независимость, уменьшение значимости экспорта энергоносителей для экономики, максимально возможное интенсивное наращивание политического, социального, технологического и экономического суверенитета. Кроме того, возрастает потребность в поиске новых партнёров, переориентации экспорта и импорта на новые рынки, углублении интеграции со странами-союзниками. В первую очередь речь должна идти об углублении интеграции ближайших соседей – России и Беларуси, на деле подтвердивших готовность и способность к взаимодействию даже при наличии сильного внешнего давления.

О необходимости углублённой промышленной кооперации России и Беларуси говорится уже не один год. Тема постоянно обсуждается на встречах президентов двух стран. Правительствами созданы профильные рабочие группы, которые вырабатывают конкретные точки соприкосновения [10]. Поодиночке России и Беларуси решить проблемы нелегко, поэтому сейчас оперативно обсуждаются совместные организационно-технические решения.

Среди широкого списка санкций одними из наиболее болезненных выступают технологические. Для того чтобы компенсировать недостаток сложного современного оборудования и промышленных технологий, а также знаний и навыков по их созданию на территории России, потребуется много времени, так как цикл освоения данных технологий и производств не может быть коротким – он занимает годы, а иногда и десятилетия. Такой высокий коммерческий кредит для экономики государства в самой ближайшей перспективе способен уничтожить любое производство и, как следствие, оставить без работы миллионы граждан, а бюджет – без доходов.

Беларусь, несмотря на то что ей удалось сохранить, а в ряде отраслей даже приумножить индустриальное наследие СССР, также не справится в одиночку. У небольшой страны, лишённой природных богатств, таких как нефть и природный газ, не хватит ресурсов, чтобы составлять конкуренцию на рынке. Лишь объединившись, Россия и Беларусь смогут успешно противостоять внешнему давлению и тем самым нивелировать все его негативные последствия [11]. Однако позитивный исход и в данном случае окажется возможным только при условии существенного пересмотра подходов в области кредитно-денежной системы, а также смены приоритетов в инфраструктурном и технологическом развитии, в том числе выведения на главные роли тех научных и производственных отраслей, которые в наибольшей степени могут содействовать подъёму экономики стран Союзного государства и в которых есть соответствующие предпосылки для занятия лидирующих позиций в мире.

Введённые против стран Союзного государства санкции открывают окно возможностей для восстановления и наращивания производственного потенциала. До сих пор российские предприятия, по сути, выступали сборочными площадками иностранных компаний. Такая ситуация сложилась потому, что существующая в стране кредитно-денежная система не позволяла сохранять и развивать глубокие технологические переделы производств с высокой добавленной стоимостью, хотя масштаб рынка и доступ к дешёвым энергоносителям могли содействовать построению другой модели. Для Беларуси решающим фактором нарастания отставания оказывалась неспособность противостоять финансовой и технологической мощи транснациональных корпораций. Слишком несопоставимые по масштабам и возможностям силы столкнулись на рыночном поле боя.

Изменившись и объединившись, переориентировав экспортно-импортные потоки на общий внутренний рынок, Россия и Беларусь смогут существенно компенсировать слабые места в экономиках друг друга, а в дальнейшем обеспечить свой быстрый экономический рост. Это требует от правительств двух стран и всех субъектов хозяйствования, а также финансовых институтов осознанных и последовательных действий. К сожалению, в настоящее время многие шаги в данном направлении не представляются правильными.

Волна, поднятая либеральным финансово-экономическим блоком России, может «смыть» остатки технологий и производства в стране. До «включения» санкций значительная часть доходов государства, в том числе средства Фонда национального благосостояния, аккумулировалась за рубежом, в США [12]. В такого рода фондах накопилась

сумма почти 700 млрд USD. Этими российскими деньгами управляли иностранные институты.

Огромные средства, а это триллионы долларов за последние 30 лет, которые выводились из страны, могли быть инвестированы в развитие отечественной промышленности, а понижение ключевой ставки по кредитам открыло бы колоссальные возможности для внутренних инвестиций и позволило бы создать реальный резерв для ускоренного развития. Но эти деньги были исключены из российской экономики. Они, по сути, стали инвестицией в экономику и промышленность США. Россия рассчитывала на иностранные инвестиции, приход иностранных технологий и экспорт энергоносителей. В результате такая система привела к зависимому полукOLONIALному положению.

Как только ситуация в отношениях с Западом обострилась, технологии и инвестиции ушли из России, продажи газа и нефти сократились. Примерно 60 % средств, накопленных в иностранных финансовых организациях, после начала специальной операции в Украине оказались замороженными и недоступными [13]. Потерянная сумма равна двум годовым бюджетам России. Однако Центральный банк даже в условиях современного кризиса не понижает ключевую ставку, чтобы стимулировать рост бизнеса и импортозамещение, а, напротив, повышает её, чтобы удержать курс рубля к доллару. *(Для сравнения: в США эта ставка составляет всего 1,7 %.)*

Очевидно, что денежно-кредитная система, приведшая к сложившейся ситуации, должна быть пересмотрена в первую очередь. Необходимо создавать условия для интенсивных внутренних инвестиций в рамках Союзного государства. Помимо традиционно приоритетных секторов хозяйства, следует поддерживать наукоёмкие производства, а также принципиально новые технологии, и прежде всего в системообразующих отраслях, таких как транспорт, энергетика, сельское хозяйство и промышленно-гражданская инфраструктура, от уровня развития которых зависят национальный суверенитет и безопасность. Именно этого боятся западные идеологи, настаивающие на санкциях и руководящие через Международный валютный фонд (МВФ) действиями Центробанка Российской Федерации. Они не желают допустить промышленного развития стран, выступающих в их глазах в качестве конкурентов в борьбе за «жизненное пространство» или даже «врагов», каким на сегодняшний день пытаются представить Россию.

Второй по значимости темой упомянутого ранее Всемирного экономического форума в Давосе традиционно обозначены экология и глобальное потепление. Несмотря на привлекательную и внешне гуманную обёртку,

высказанные в рамках дискуссий идеи о защите природы направлены на достижение тех же целей, что и вводимые против России санкции, – устранение конкурентов. Так, исполнительный директор Siemens AG Рональд Буш предложил на уровне международного законодательства принять радикальные меры – установить цены на углерод, что, по его словам, создаст стимул для бизнеса декарбонизировать свою деятельность [9]. На деле же нетрудно понять, что такое решение окажется вовсе не стимулом, а летальной технологической санкцией против тех стран и предприятий, которые по финансовым причинам не могут позволить себе платить за углерод, а тем более декарбонизировать производство при помощи сложного, дорогостоящего и неэффективного оборудования.

Все действия и риторика Запада с начала пандемии COVID-19 свидетельствуют о том, что Европа и США не настроены на взаимопомощь и сотрудничество с государствами, которые, по их мнению, не являются достаточно развитыми. Таковых на планете большинство, включая и страны Союзного государства. Поведение европейских держав свидетельствует: они преследуют интересы лишь узкого «ближнего круга». Для них, например, не важно, что санкции против России грозят топливным и продовольственным кризисом им самим. Хотя они и понимают это.

В том же Давосе в мае 2022 г. управляющий директор МВФ Кристилина Георгиева заявила, что развивающиеся страны столкнулись с нехваткой продовольствия из-за санкций против России, которая является основным его поставщиком [14]. Несмотря на это осознание, санкционное давление не ослабевает; вероятно, что сложившаяся ситуация вполне устраивает МВФ и ЕС. По их мнению, развивающиеся страны не должны слишком развиваться – в противном случае они могут угрожать лидерству и гегемонии МВФ и ЕС, чему данные организации будут пытаться противодействовать всеми силами так, как мы увидели на примере России и Беларуси.

Из сказанного следует, что России и Беларуси в современной ситуации стоит надеяться только друг на друга. В то же время усиление интеграции в рамках Союзного государства открывает перед странами новые возможности и горизонты, позволяет переориентироваться на внутреннюю повестку, выстраивая курс на наращивание автономности и суверенитета (в том числе технологического), на развитие экономики. В рамках Союзного государства могут быть созданы, с чистого листа, новые финансовые институты, сформированы новое правительство и более совершенная кредитно-денежная система, не подверженные влиянию недружественных стран, а также реализованы различные

программы, предусматривающие комплексную перезагрузку союзной экономики на новые технологические рельсы.

Очевидно, что для реализации данных планов необходимо получить независимость от наднациональных либеральных глобальных систем (ВТО, ВОЗ, Киотский протокол, МВФ и др.), созданных «глубинной властью» и квазиэлитами с единственной, глубоко законспирированной целью – управление миром исходя из своей повестки и в своих интересах. В область этих интересов никоим образом не входит суверенитет Союзного государства – политический, социальный, технологический и экономический.

Для реализации устойчивых целей развития Союзного государства следует предпринять значительные усилия, связанные с радикальным изменением набравших в Российской Федерации огромную инерцию природоёмких сырьевых тенденций. Становится всё более очевидно (и последний кризис это подтвердил), что сформировавшаяся в России экспортно-сырьевая модель экономики исчерпала себя. Важной чертой новой модели должна стать экологическая устойчивость [15].

Проблемы, которые необходимо неотложно решать руководству Союзного государства, включают в себя: истощение природного капитала как фактора экономического роста; серьёзное воздействие загрязнённой окружающей среды на здоровье человека; структурные сдвиги в экономике, повышающие удельный вес природоэксплуатирующих и загрязняющих отраслей; увеличение экологических рисков в связи с существенным физическим износом оборудования; высокий уровень показателей природоёмкости; природно-ресурсная направленность экспорта; экологически несбалансированная инвестиционная политика, ведущая к диспропорции между природоэксплуатирующими и перерабатывающими, обрабатывающими и инфраструктурными отраслями экономики; иное.

Возникновение вышеперечисленных проблем во многом связано с недоучётом экологического фактора в макроэкономической политике, что приводит к дальнейшей деградации окружающей среды и исчерпанию невозобновляемых природных ресурсов. В России экологически негативные структурные сдвиги усугубил кризис, во время которого выжили прежде всего экспортные сырьевые отрасли, во многом благодаря государственной поддержке. Кризис наглядно показал колоссальную зависимость российской экономики от эксплуатации земных недр и продажи природного сырья [16].

Несмотря на меры, принимаемые руководством России в области инноваций, модернизации, диверсификации и импортозамещения, сохраняется опасность превращения

хозяйства страны в исключительно экспортно-сырьевое, а также отмечается рост удельного веса отраслей с сильным негативным экологическим воздействием. Кроме того, наблюдается дальнейшее загрязнение и деградация природной среды, нарушение хрупкого баланса биосферных экосистем, что ведёт к ухудшению здоровья человека и ограничивает возможности цивилизационного развития. Приблизённые оценки рисков от загрязнения воды и воздуха позволяют говорить о том, что экономические издержки для поддержания здоровья населения России составляют в среднем не менее 4–6 % от ВВП. В регионах, в частности на Урале, ущерб здоровью по экологическим причинам может достигать 10 % ВРП [17].

### Проблемы загрязнения окружающей среды

В 2022 г. заместитель Председателя Правительства Российской Федерации Виктория Абрамченко назвала самые экологически неблагоприятные города России, в которых уровень загрязнения воздуха после реализации федерального проекта «Чистый воздух» должен сократиться на 20 %. Это Челябинск, Нижний Тагил, Магнитогорск (где расположены крупные металлургические заводы), Норильск, Новокузнецк, Омск, Красноярск, Череповец, Липецк, Братск (где находятся алюминиевые заводы), Чита и Медногорск [18].

Безусловно, во многих населённых пунктах критическую экологическую обстановку создают промышленные предприятия и энергетические установки, но они всё-таки имеют местный характер, хотя несут достаточно высокие риски для здоровья людей в регионах локации.

Среди неблагоприятных факторов воздействия окружающей среды на здоровье населения первое место по стране занимает загрязнение атмосферного воздуха автотранспортом.

На втором месте в данном сомнительном рейтинге – городской шум. Его уровень в результате бурного развития транспортной нагрузки за минувшие 20–25 лет вырос на 5–10 дБ, т. е. в 2,5 раза по субъективному ощущению громкости [19]. Соответственно, можно предположить, что последствия воздействия шума на здоровье жителей городов весьма значительны.

Несмотря на то что в настоящее время наблюдаются уменьшение выбросов вредных веществ в атмосферный воздух и пусть медленное, но улучшение показателей его загрязнения, темп ухудшения состояния почв не снижается, наоборот, происходит ускоренная деградация их качества и плодородия. Это свидетельствует о том, что существующие меры государственного регулирования не в полной мере обеспечивают сохранение плодородия почв как ресурса,

гарантирующего продовольственную безопасность страны, и как важнейшего природного компонента, который способствует устойчивому функционированию биосферных экосистем – не только локальных и региональных, но и глобальных, общепланетарных.

Почва является основой сельского хозяйства и той природной средой, где произрастают практически все продовольственные культуры. Подсчитано, что 95 % продуктов питания производится прямо или опосредованно на природных почвах [20]. На сегодняшний день около 30 % земель деградировано в той или иной степени – от умеренной до сильной – вследствие эрозии, засоления, уплотнения, закисления и химического загрязнения [21].

Скорость обеднения и вырождения почв сейчас такая, что ставится под угрозу возможность будущих поколений удовлетворить свои наиболее насущные потребности. По имеющимся оценкам текущих демографических тенденций и прогнозируемого роста мирового населения к 2050 г. (10 млрд человек) можно предположить: для того чтобы удовлетворить спрос только на продовольствие, сельскохозяйственное производство в мире должно в среднем вырасти на 60 %, в развивающихся странах – почти на 100 % [22].

На 1 января 2021 г. площадь земельного фонда Российской Федерации в соответствии с данными Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии составила 1712 млн га, из них земли категории лесного фонда – 1126 млн га (65,8 %), сельскохозяйственного назначения – 381,7 млн га (22,3 %) [23]. По статистике последних лет, сельхозугодия сокращаются, поскольку они утратили исходные качества, заросли лесом и стали непригодны для дальнейшего использования по целевому назначению. Так, в период с 2011 по 2021 г. общая площадь сельскохозяйственных земель в Российской Федерации уменьшилась на 12,6 млн га, что составляет более 3 %. В связи с этим приоритетными для развития агропромышленного комплекса страны становятся задачи, направленные на поэтапное вовлечение в сельскохозяйственный оборот ранее не использованных земель, обладающих улучшенными характеристиками.

Общая площадь земельных ресурсов Республики Беларусь – 20,76 млн га; по видам преобладают лесные и сельскохозяйственные земли, площадь которых равняется 9,6 млн га и 8,3 млн га соответственно. *(Для сравнения: только Тюменская область Российской Федерации с автономными округами занимает 146,4 млн га, что в семь раз превышает площадь Беларуси.)*

Влияние России как евразийского государства и её огромной территории на глобальные климатические,

экологические, геополитические, экономические, социальные, демографические, ресурсные, инфраструктурные, энергетические, инвестиционные, инновационные, интеллектуальные и иные проблемы современности на один-два порядка превышает влияние Беларуси, поэтому в настоящем анализе проблемы Союзного государства рассмотрены преимущественно с позиций геополитических интересов России, занимающей 1/9 территории всей земной суши (для Беларуси этот показатель равен 1/722).

Анализ результатов мониторинга почвы на наличие органического вещества (гумуса) как основного фактора, определяющего почвенное плодородие, показал, что в Российской Федерации из обследованных 99,7 млн га преобладают слабогумусированные почвы – 37 млн га, или 37,1% обследованной площади. Почвы, содержание гумуса в которых меньше минимального, составляют значительную часть – 25 млн га (25,1%); на среднегумусированные почвы приходится 26,2 млн га (26,3%), в то время как доля сильногумусированных почв не превышает 11,4 млн га (11,4%) [24]. Наибольшее количество пахотных земель с содержанием гумуса меньше минимального расположено в Самарской (2,8 млн га, или 99,2%), Оренбургской (2,5 млн га, или 41,2%), Курганской (2,1 млн га, или 86,2%),

Ростовской (2 млн га, или 51,1%), Саратовской (1,7 млн га, или 29,9%) областях; Ставропольском крае (1,3 млн га, или 32,1%); Волгоградской (1,3 млн га, или 23,1%) и Челябинской областях (1,1 млн га, или 44,1%); Алтайском крае (1,1 млн га, или 18,8%).

### Проблемы изменения климата

Согласно данным, представленным в соответствующих оценочных докладах Росгидромета, среднегодовая температура на территории Российской Федерации растёт более чем в 2,5 раза быстрее глобальной – со скоростью 0,45 °C за 10 лет, и особенно стремительно – в арктической зоне, где скорость роста достигает 0,8 °C за 10 лет. В Арктике в последние десятилетия наблюдается резкое сокращение площади морского льда на фоне значительной межгодовой изменчивости. На основании расчётов в России в течение XXI в. ожидается повышение средней температуры приземного воздуха. Наибольшее потепление вероятно в Сибири и северных регионах страны, а также в Арктике. Предполагается дальнейшая деградация многолетней мерзлоты, что сопровождается увеличением мощности сезонно-талого слоя и смещением к северу границы, разделяющей области сезонного протаивания



и сезонного промерзания грунтов. Сокращение ледяного покрова Северного Ледовитого океана будет происходить в течение всего XXI в., причём преимущественно за счёт уменьшения площади многолетних льдов.

Мировая статистика подтверждает справедливость модельных расчётов и прогнозов учёных и специалистов об ускорении темпов и росте масштабов социально-экономических последствий потепления и других изменений климата как на планетарном уровне, так и в конкретных регионах мира, включая Россию. Эксперты Всемирного экономического форума уже более 10 лет публикуют ежегодные доклады с рейтингами глобальных рисков, среди которых самые высокие позиции занимают угрозы населению и экономике, связанные именно с изменением климата.

Экстремальные погодные условия возглавили список глобальных рисков в рейтинге 2021 г., заняв первое место по критерию вероятности и второе – по критерию масштабов воздействия и тяжести последствий. Стихийные бедствия и неудачи в реализации мер по снижению техногенного воздействия на климат и адаптации к изменениям климата – также среди лидеров по обоим критериям. Кроме того, по вероятности возникновения приоритетные позиции занимает массовая вынужденная миграция, одной из разновидностей которой являются так называемые «климатические беженцы». В течение последнего времени росли общие опасения, касающиеся экологических угроз. Впервые в десятилетней истории исследования глобальных рисков Всемирный экономический форум определил, что экологические угрозы занимают все позиции в пятёрке крупнейших рисков по вероятности возникновения и три позиции – в пятёрке крупнейших рисков по степени воздействия [25].

Существует и противоположная точка зрения, выдвигаемая независимыми исследователями и экспертами, в том числе российскими и белорусскими. Она заключается в следующем: глобальное потепление обусловлено не антропогенными факторами, а естественными циклами, которые вызваны процессами, идущими в недрах Солнца и Земли, а также их движением по планетарным и галактическим орбитам. В частности, известно, что происходит постоянное ускорение термоядерного сгорания водорода в нашем светиле и увеличение его яркости, что со временем (примерно через 5 млрд лет) вообще превратит Солнце в красного гиганта, который расширится и поглотит Землю. В пользу данной позиции говорит и такой факт: в исторической ретроспективе температура на планете не была жёстко связана с содержанием парниковых газов в земной атмосфере, в том числе углекислого газа.

О том, что CO<sub>2</sub> не является главным климатообразующим фактором (с позиций парникового эффекта гораздо важнее содержание паров воды в земной атмосфере и озона в озоновом слое), 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, а средняя температура – на 10 °C выше. В то время как 150–200 млн лет назад его содержание было почти на порядок больше, чем сегодня, – 0,3%, а 400–600 млн лет назад – даже 0,6%, при этом тогда не происходило никакого глобального потепления. Наоборот, практически вся планета была покрыта льдом.

Автору настоящего исследования очевидно, что программа «5D» (диджитализация, деиндустриализация, декарбонизация, десоциализация, депопуляция), навязываемая человечеству с маниакальным упорством мировыми квазиэлитами через их рупоры (Римский клуб, Всемирный экономический форум и подконтрольные им структуры ООН и Всемирной организации здравоохранения) и реализуемая в настоящее время во всём мире, преследует совсем иные стратегические цели, чем те, о которых говорят западные средства массовой информации.

На самом деле для России и Беларуси не важны последствия глобального потепления. Например, Россия только выиграет от него, так как климат её северных территорий станет благоприятнее. Поднявшийся уровень океана затопит только прибрежную зону, в первую очередь береговую линию Северного Ледовитого океана, практически не заселённую людьми. Но это улучшит российскую и международную логистику, поскольку Северный морской путь освободится от многолетнего льда. Это облегчит и удешевит добычу природных ресурсов – помимо углеводородов богатство недр российской Арктики составляют уникальные запасы фосфора, ртути, титана, тантала, олова, алмазов, золота, никеля, меди, серебра, вольфрама, урана, платины, палладия, молибдена, а также драгоценных, редких, редкоземельных и цветных металлов.

Кроме того, поднявшийся уровень несколько потеплевшего Северного Ледовитого океана увеличит российские морские биоресурсы, повысит возможности северной аквакультуры и расширит ареалы сельского хозяйства и его продуктивность, так как зима на севере станет не такой суровой, а лето будет теплее. Согласно множеству взвешенных прогнозов уровень океана в ближайшую тысячу лет не поднимется выше 10 м, что угрожает не Москве и Минску, а таким мегаполисам, как Лондон и Нью-Йорк. Поэтому именно англичане и американцы так обеспокоились глобальным



потеплением и климатическими рисками. Однако почему Союзное государство обязано в ущерб собственным интересам помогать своим явным геополитическим противникам в решении их проблем? Ведь они не горят желанием поддерживать Россию и Беларусь, а наоборот, на протяжении столетий принесли им немало неразрешимых проблем и ужасающих бед.

### Проблемы транспортного комплекса

Российскую экономику характеризует высокая степень пространственной неоднородности. Создать единое транспортное пространство, сделать перевозки безопаснее, улучшить доступность транспорта для пассажиров – ключевые задачи, поставленные в Транспортной стратегии России до 2030 г. [26].

Для регионов России свойственны существенные различия уровня социально-экономического развития, ресурсной и производственной специфики. Главной причиной острого дефицита постоянного населения являются не столько суровые природно-климатические условия, сколько транспортная изоляция, которая автоматически лишает граждан элементарной мобильности и доступа к основным благам цивилизации в виде разнообразного ассортимента продуктов и товаров широкого потребления.

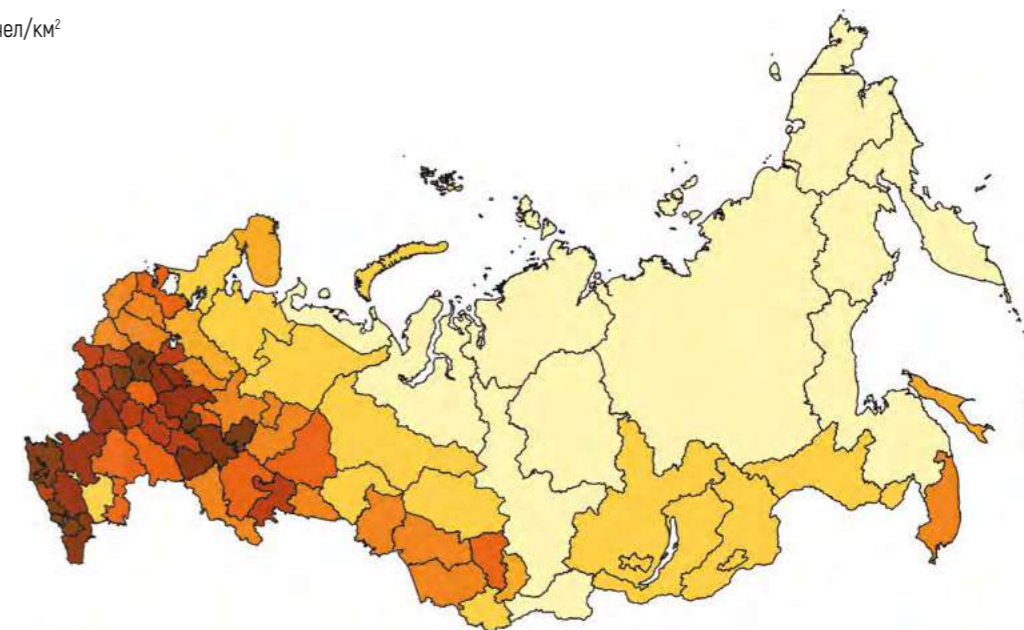
Стратегические проблемы развития транспортного комплекса в России:

- низкая мобильность населения;
- ограниченная доступность транспортно-логистических услуг;
- невысокая эффективность и низкая экономичность транспортного комплекса;
- неудовлетворительный технический уровень и ориентация на устаревшие транспортные технологии столетней давности;
- слабое использование транзитного потенциала, недостаточная связанность с элементами глобальной логистики;
- нестабильность экономического развития регионов и страны в целом.

Решение задач устойчивого развития и поиск баланса между экономическим ростом и качеством жизни особенно актуальны для городов, где сконцентрирована большая часть мирового населения. По прогнозам Фонда ООН по народонаселению, к 2030 г. число горожан в мире достигнет 5 млрд. При этом городское население будет расти в основном в средних и крупных городах, а не в мегаполисах. Кроме того, происходит расширение территорий, занимаемых городскими поселениями.

Плотность населения, чел/км<sup>2</sup>

- 0–4
- 4–9
- 9–20
- 20–40
- 40–60
- 60–90
- 90–140
- 140–1760
- 1760–11 800



К 2030 г. их площадь, по данным ООН, увеличится в три раза в развивающихся странах и в 2,5 раза – в промышленно развитых регионах [27]. Например, самый большой в мире промышленный город Чунцин (Китай) уже догнал по своим размерам Австрию – он отнял у природы более 82 000 км<sup>2</sup> земли.

По информации Росстата, общая численность населения России на 1 января 2022 г. составила 145,4 млн человек; плотность населения – 8,5 чел/км<sup>2</sup>. По первому показателю Российская Федерация занимает девятое место среди всех государств мира, а по второму – 180-е (на 179-м – Боливия, 181-м – Чад). Согласно статистическим данным, на европейском пространстве России на 1 км<sup>2</sup> проживают 29 человек; плотность населения на её азиатской территории – всего 2,5 чел/км<sup>2</sup>. Плотность населения севера вообще низкая – 1,03 чел/км<sup>2</sup>.

Такая неравномерность обусловлена в первую очередь географическими и историческими факторами. Европейская часть России была заселена раньше, поэтому на сегодняшний день жителей там больше. Азиатский регион наименее обитаем по климатическим причинам. Например, для Сибири характерен суровый климат (средняя температура воздуха от –15 °С до –30 °С). Кроме того, на заселённость влияет инфраструктура, которая во многих районах азиатской части Российской Федерации не очень развита. В связи с этим основная часть жителей России сконцентрирована именно на её европейской территории, которая, как отмечают люди, больше пригодна для обитания.

### Выводы

При сложившихся в экономике подходах и современных антиустойчивых тенденциях российская экономика может окончательно превратиться в сырьевую природоэксплуатирующую экономику с истощающимися природными ресурсами, которая находится на периферии мирового развития и страдает от любого (даже незначительного) снижения цен на сырьё. Такие неблагоприятные перспективы – самая веская причина необходимости скорейшей и масштабной модернизации народного хозяйства. Вместе с тем следует помнить, что русский человек, по мнению мировых квазиэлит, нужен лишь в качестве обслуживающего персонала территории, являющейся сырьевым придатком и ресурсной кладовой для индустриально развитых западных стран. Это означает, что население России и Беларуси должно быть ими «оптимизировано» – снижено в разы, до 50 млн и даже до 30 млн человек. Для такой цели все методы будут хороши – пандемия, война, замещение экономики реальных ценностей на экономику мнимых сущностей, социальная и нравственная деградация.

Соответственно, проблема поиска баланса между социально-экономическим развитием и улучшением состояния природной, социальной и экономической среды является насущной задачей не только для российских городов, но и для страны в целом. Это требует использования особого макроподхода к территории, раскинувшейся на 1/9 земной суши, как социоэколого-экономической системе

Проблемы городской мобильности

Экономические	Социальные	Экологические
Транспортные заторы	Затруднение мобильности уязвимых групп населения	Загрязнение воздуха
Увеличение расходов на содержание и развитие транспортной и сопутствующей инфраструктуры	Негативное влияние на здоровье населения	Деградация городских экосистем
Рост расходов пользователей	Негативное влияние на социальные отношения и активность использования общественных пространств	Негативное влияние на водные объекты и городскую почву
Ограничение мобильности городского населения	Негативное влияние на социальные отношения и активность использования общественных пространств	Чрезмерное использование невозобновляемых природных ресурсов
Потери в дорожно-транспортных происшествиях (гибель и травматизм граждан)	Низкая пригодность городских районов для жизни	Шумовое загрязнение
Потеря земель, занятых городом, для сельскохозяйственного производства	Негативное влияние на визуальный облик городской среды	Разрастание городов и возникновение экологических проблем на прилегающих территориях
Потеря городских земель в результате развития улично-дорожной сети и парковочного пространства	Изоляция отдельных городских районов	Захоронение городских отходов (в том числе бытовых) на прилегающих территориях; вызванная этим деградация почв и региональных экосистем
Потеря времени и ухудшение логистики из-за пространственного разрастания городов	Негативное влияние на уровень городской безопасности	

с равным вниманием ко всем важнейшим сферам жизнедеятельности человека и функциям окружающей Живой Природы.

### Потенциал России в возможном технологическом прорыве

Россия, будучи самой большой страной в мире, обладающей колоссальным ресурсным и интеллектуальным потенциалом, стремится вести независимую политику, ориентированную на защиту интересов своего народа, сохранение территориальной целостности и суверенитета во всех его проявлениях – от социально-экономического до нравственно-духовного. Однако в силу ряда причин её позиции в глобальном геополитическом и цивилизационном противостоянии оказались ослабленными.

Экономическое и технологическое отставание России от геополитических конкурентов обусловлено историческими событиями, связанными с распадом СССР, и последовавшим затем долгим периодом восстановления. В то время, когда страна вынуждена была решать базовые задачи государственного и экономического строительства, другие страны смогли направить ресурсы на стимулирование роста научно-технологического потенциала. В результате во многих технических сферах им удалось уйти далеко вперёд.

В сложившейся ситуации попытки догнать европейские государства и США в технологическом развитии в рамках традиционных сфер и отраслей, занятых транснациональными корпорациями, представляющими эти страны, оказываются тяжело реализуемыми. Ввиду этого целесообразнее сделать ставку на инновационное развитие по тем прорывным направлениям, в которых Россия способна быть первой и где сможет навсегда за столбить за собой мировое лидерство.

Для того чтобы подобные шаги стали эффективными, масштаб инновационных проектов должен быть значительным, захватывать весь спектр преимуществ Союзного государства и позволить в полном объёме реализовать территориальный и ресурсный потенциал России и Беларуси, а затем обеспечить быстрый рост экспортных возможностей за счёт поставки во все страны мира реализованных прорывных технологий.

В России также осознаётся необходимость радикальных изменений как в существующей модели мирового развития, так и внутри страны. На Конференции ООН по устойчивому развитию «Рио+20» в июне 2012 г. Председатель Правительства Российской Федерации Д.А. Медведев

подчеркнул: «Общество, экономика и природа – неразделимы. Именно поэтому нам нужна и новая парадигма развития, которая способна обеспечить благосостояние общества без избыточного давления на природу. Интересы экономики, с одной стороны, и сбережение природы, с другой стороны, должны быть сбалансированы и должны ориентироваться на долгосрочную перспективу. При этом необходим инновационный рост и рост энергоэффективной, так называемой «зелёной» экономики, который, безусловно, выгоден всем странам» [28]. Вероятно, главная задача российской экономики на современном этапе, отражённая в ключевых документах развития страны на среднесрочную и долгосрочную перспективу, – уход от сырьевой модели экономики. Это направление является центральным и в концепции «зелёной» экономики, большинство целей которой включено в основополагающие документы.

Будущая экономика Союзного государства должна обладать следующими важными чертами:

- решающее значение приобретают экологические и экономические условия жизни граждан и их гарантированное и стабильное обеспечение базовыми продуктами и услугами;
- приоритет в своём развитии получают наукоёмкие, высокотехнологичные, обрабатывающие и инфраструктурные отрасли с минимальным воздействием на окружающую среду;
- существенно снижается удельный вес сырьевого сектора в экономике;
- радикально повышается эффективность использования природных ресурсов, отмечается их экономия, что отражается в резком сокращении затрат природных ресурсов и объёмов загрязнений на единицу конечного результата (снижаются индикаторы природоёмкости и интенсивности загрязнений);
- кардинально уменьшается загрязнение окружающей среды в промышленности и на транспорте.

Облегчить и ускорить переход к новой экономике государство способно с помощью экологически сбалансированных экономических реформ и создания соответствующей экономической среды на макроуровне [29].

В целом можно выделить основные проблемы, стоящие в первую очередь перед российскими регионами в обеспечении устойчивости социально-экономического развития:

- разделение полномочий в экономической сфере между федеральным центром и регионами, особенно в бюджетной сфере;

- недиверсифицированность структуры экономики региона;
- диспропорции в финансовой сфере (дефицит финансов в реальном секторе);
- усиление социальной напряжённости (расслоение общества, увеличение доли населения, живущего за чертой бедности);
- недостаточная развитость внутрирегиональных и межрегиональных связей, в том числе внешнеэкономических;
- нерешённость вопросов обеспечения экологической безопасности;
- отсутствие чётко разработанной системы количественных целевых индикаторов устойчивости развития регионов;
- отсутствие эффективной системы государственного регулирования устойчивым социально-экономическим развитием;
- недостаточная конкурентоспособность продукции регионов, вытеснение отечественных производителей с внутреннего рынка в результате импорта иностранной продукции.

Для развития регионов, обладающих определённой степенью инертности, важен момент времени. Если принять тезис, что территория является социоэколого-экономической системой, то вопрос времени будет решающим. Принимаемые сегодня экономические решения в столь взаимосвязанной системе имеют долгосрочные последствия как с точки зрения воздействия на общество, т. е. социальной составляющей, так и с точки зрения воздействия на окружающую среду, т. е. экологической составляющей [27]. Причём решения, рассчитанные на немедленный экономический эффект без акцентирования внимания на экологических и социальных аспектах, могут в дальнейшем оказаться менее выгодными, когда общество будет вынуждено нести дополнительные существенные затраты в силу ухудшения окружающей среды или создания неблагоприятной социальной ситуации.

Инновационный вариант предполагает, с одной стороны, сокращение различий в уровне социально-экономического развития субъектов Союзного государства; снижение межрегиональных различий в уровне и качестве жизни населения; создание равных возможностей для всех граждан независимо от места их проживания в реализации своих социальных и экономических прав. С другой стороны, должен быть обеспечен баланс между наращиванием экономического потенциала каждого субъекта государства

и (или) муниципального образования и комфортностью среды обитания для жителей соответствующих территорий – природная среда не должна подвергаться деградации. В этой связи ключевым направлением становится сбалансированное развитие транспортно-инфраструктурного комплекса, который предоставит логистические и инфраструктурные условия для роста инновационной составляющей экономики, обеспечит повышение качества жизни населения и переход к полицентрической модели пространственного прогресса Союзного государства.

Мероприятия, направленные на развитие нового транспортно-инфраструктурного комплекса, включают:

- создание сети территориально-производственных кластеров – жилых, промышленных, энергетических, IT-хабов, научных, образовательных, туристских, рекреационных, торгово-развлекательных и иных, ориентированных на высокотехнологичные, наукоёмкие и отраслеобразующие технологии и производства;
- организацию территориально-производственных кластеров, нацеленных на глубокую переработку сырья и производство энергии, обеспечивающих освоение новых территорий (горы, шельф моря, тайга, тундра, др.);
- образование и развитие туристско-рекреационных зон в Крыму, на Черноморском побережье, Алтае, Байкале, Камчатке, российском севере и других территориях;
- развитие крупных транспортно-логистических и производственно-энергетических узлов Запада и Северо-Запада Союзного государства, Урала, Сибири, Арктики, Дальнего Востока, юга России и других регионов, в том числе четырёх юго-западных регионов, присоединённых к Российской Федерации в 2022 г.

При реализации данного варианта модернизация транспортно-инфраструктурного комплекса государства должна идти опережающими темпами по сравнению с другими отраслями экономики и социальной сферой для того, чтобы снять инфраструктурные ограничения перспективного социально-экономического развития, зависящего от коммуникаций – транспортных, энергетических и информационных.

Отсюда вытекают новые требования к транспортно-инфраструктурному комплексу: на основе прорывных транспортно-инфраструктурных технологий должен осуществиться переход от действующей экстенсивной модели развития к интенсивной. Именно поэтому транспортно-инфраструктурные инновации призваны стать отправной точкой устойчивого роста экономики Союзного государства.

## Предложения Unitsky Group of Companies по Программе перезагрузки экономики Союзного государства России и Беларуси на биосферный путь цивилизационного развития

В настоящее время в разработанной международной группой компаний Юницкого (Unitsky Group of Companies – UGC) программе «ЭкоМир» [30] предложены технологии, которые полностью удовлетворяют вышеобозначенным требованиям:

- реликтовая солнечная биоэнергетика (РСБЭ), использующая энергию древнего Солнца (освещавшего Землю сотни миллионов лет назад);
- биосферное сельское хозяйство, основанное на массовом производстве и использовании живого гумуса, полученного из бурого угля и сланцев (вместо химических удобрений, ядохимикатов, пестицидов и генной модификации сельскохозяйственных культур);
- строительство линейных городов uCity, состоящих из пешеходных поселений кластерного типа;
- транспортно-инфраструктурные комплексы «второго уровня» – Струнный транспорт Юницкого (ЮСТ);
- создание геокосмического летательного аппарата – общепланетарного транспортного средства (ОТС), призванного обеспечивать крупномасштабные пассажиро- и грузопотоки, необходимые для индустриального освоения ближнего космоса, а это – миллионы пассажиров и миллионы тонн грузов в год.

Международная группа компаний, созданная инженером А.Э. Юницким, инициирует перезагрузку производственно-хозяйственной системы мировой экономики через возврат к Живой Природе, биологической частью которой, причём весьма незначительной, и является земная индустриальная цивилизация. Осуществить этот переход предлагается с помощью природных (биосферных) технологий, но никак не посредством природоподобных технологий. Такая перезагрузка может быть реализована по двум направлениям, которые способны развиваться параллельно.

**Первое направление.** Использование инновационных биосферных технологий в жилой, производственной и транспортной инфраструктуре, в энергетике и сельском хозяйстве – на основе установившихся в мире форм хозяйствования. Это обеспечит значительный экономический рост и массовое внедрение данных биосферных технологий в планетарных масштабах.

**Второе направление.** Постепенный переход (в течение одного поколения, как это осуществлялось, например, в эпоху сталинской индустриализации СССР) к новой посткапиталистической системе, субъектами хозяйственной деятельности и культурной жизни которой станут небольшие общины численностью в несколько тысяч человек, объединённые по месту жительства (в пешеходных кластерах-посёлках) в рамках единой глобальной транспортно-инфраструктурной системы пешеходных кластеров линейных городов.

Основу любой экономической системы составляют сельское хозяйство и энергетика. Что в данных отраслях предлагают современные эксперты? Генетически модифицированные продукты и искусственное мясо, опасные для здоровья человека, а также переход на возобновляемые источники энергии, что возможно только в случае, если мировое энергопотребление будет существенно, на порядок, сокращено. Однако это может произойти только вследствие широкомасштабного освоения космоса и вынесения за пределы планеты экологически вредной и энергоёмкой части земной индустрии при неуклонном соблюдении в будущем общечеловеческих ценностей и сохранении численности населения планеты на уровне 10 млрд человек, без его сокращения и без цифровой модификации людей в киборгов-конвергентов [31].

Альтернативой традиционным антибиосферным сельскому хозяйству и энергетике станут биосферное сельское хозяйство и экологически чистая реликтовая солнечная биоэнергетика. Это обусловлено следующими причинами.

**Во-первых,** сельское хозяйство необходимо локализовать в местах проживания людей, в шаговой доступности, сделав его высокопродуктивным и основанным на использовании живого, полностью природного и органического плодородного гумуса – без применения химических удобрений, ядохимикатов и генной модификации. Там, где будет производиться пища, там же все её отходы, в том числе канализационные стоки и бытовой мусор, будут превращены в гумус. На этом гумусе здесь же, в жилом кластере, вырастет новая пища, что соответствует естественному круговороту живого вещества в биосфере, как это и было всегда в предшествующие сотни миллионов лет эволюции жизни на нашей планете.

В настоящее время пища для человека растёт в одном месте, а пищевые отходы, включая канализационные стоки, образуются совершенно в другом, даже за тысячи километров. При этом вынос питательных веществ из живой плодородной почвы сельскохозяйственных угодий на планете (а это миллиарды тонн ежегодно) не компенсируется,

так как в почву обратно вносятся в основном только три химических элемента – азот, калий и фосфор. В то же время растения при своём росте берут из почвы практически всю таблицу Менделеева – более 80 химических элементов [31]. Причём в почву сельхозугодий сегодня вносятся произведённые промышленностью простые и растворимые химические удобрения, а не созданные жизнью сложные органические нерастворимые гуматы, как это происходило ранее и происходит сейчас в природной составляющей земной биосферы – в той её части, где вмешательство человека исключено или минимально.

**Во-вторых,** 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 бурые угли, имеющие те же наборы макро-, микро- и ультрамикроэлементов, что и древние организмы, когда окружающая среда не была загрязнена индустриальными отходами, могут быть использованы не столько для генерации электрической и тепловой энергии, сколько для получения реликтового биогумуса – основы плодородия любых почв.

Уже давно известно, что пищевые цепочки для животных, в том числе человека, начинаются в плодородной части почв, состоящих из гумуса и тысяч видов почвенных микроорганизмов (их количество – до триллиона живых организмов в каждом килограмме почв чернозёмного типа), благодаря симбиозу которых и произрастает здоровая, и даже целебная, пища. Именно природная живая почва, а не та земля, которая сегодня убита минеральными удобрениями, пахотой и ядохимикатами повсеместно на всех континентах, является в биосфере нашей планеты тем ключевым звеном, которое можно назвать глобальной иммунной системой. От её состояния зависит здоровье всех земных живых организмов, в том числе и человека. В частности, ослабленные современной индустрией биосферная и эволюционно связанная с ней человеческая иммунные системы – основные причины возникновения эпидемий и пандемий.

Предлагается смешивать отходы сгорания горючих ископаемых (зола, шлак, шлам, пыль, дымовые газы) и несожжённые сланцы или бурые угли в пропорции примерно 1 : 5, с добавлением любого сырья органического происхождения – травы, торфа, опилок, навоза, бытового мусора и др. Данная 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 [32].

Полученный живой реликтовый гумус можно вносить в верхний слой почвы (толщиной 30–40 см) в количестве от 2 % по массе – при таком его небольшом содержании даже песок пустыни станет плодородным. То есть вокруг электростанций будет создана живая высокоплодородная почва, на которой можно посадить, например, сады. Следовательно, своеобразным побочным «отходом» работы таких реликтовых солнечных биоэлектростанций станут виноград, яблоки и другая сельхозпродукция.

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

Биоэлектростанции можно объединить в комплексы с сельскохозяйственными сооружениями. Тогда избыток углекислого газа от работы реликтовых солнечных биоэлектростанций будет не только химически связан в гумусе, но и подан в теплицы (в холодных регионах мира) или в оранжереи (в тропических регионах), от чего их продуктивность возрастёт в разы. В теплицах и оранжереях углерод будет утилизирован растениями и переработан в пищевые углеводы, белки, растительные жиры, ферменты, витамины и другое многообразное живое вещество – в виде тысяч разнообразных органических соединений, включающих в свой состав практически всю таблицу Менделеева, основная доля в которых по массе – около 60 % – приходится именно на углерод.

Тепло (а это порядка 55 % от энергии сгорания топлива) будет использовано для обогрева теплиц в холодном климате или кондиционирования оранжерей в жарких странах (в специальных преобразователях тепла в холод). При этом ночной избыток электроэнергии будет направлен на дополнительное освещение теплиц и оранжерей, что также повысит их продуктивность.

Мировых запасов бурых углей и сланцев (порядка 600 трлн тонн) хватит примерно на 15 000 лет для обеспечения будущего населения планеты в 10 млрд человек «зелёной» энергией из расчёта 2 кВт на каждого землянина, что составит общую энергетическую мощность порядка 20 млрд кВт. *(Для сравнения: мощность всех действующих сегодня электростанций мира на порядок ниже – 2,1 млрд кВт.)*

**В-третьих,** жилая, производственная и транспортная инфраструктура должна быть размещена в линейных городах, причём в пешей доступности, что даст возможность эффективно обустроить не только уже освоенные земли,

но и отдалённые и труднодоступные регионы, тем самым решив локальные и глобальные проблемы, в том числе экологические, вызванные повсеместной урбанизацией. Это позволит освоить, причём без негативной нагрузки на природу, незаселённые сегодня территории, такие как шельф моря или горы, тайга или джунгли, пустыня или тундра.

Постепенно всё больше и больше людей захочет поселиться в подобных местах, предпочитая их для счастливой и достойной жизни вместо её прожигания в погоне за заработной платой и прибылью в бетонно-асфальтовых джунглях мегаполисов. Фактически произойдёт то же, что было и ранее, когда люди массово переезжали в города из деревень, только новая миграция станет осуществляться в обратном направлении.

**В-четвёртых**, для инвесторов и потребителей привлекательность линейных городов будет обеспечена более комфортными условиями жизни в них, а также транспортной доступностью при значительной экономии средств на строительство и эксплуатацию всей жилой, производственной и транспортной инфраструктуры. Если, например, и возникнет необходимость посетить определённый мегаполис, то это можно будет сделать за приемлемые время и деньги, даже если кластер проживания будет удалён от него на сотни километров.

Коммуникацию между существующими городами и кластерами линейных городов обеспечат скоростные транспортные системы в эстакадном исполнении, известные как Струнный транспорт Юницкого и в настоящее время продвигаемые под брендом ЮСТ, в которых пассажиры и грузы будут перемещаться на скорости до 150 км/ч по городу и до 500 км/ч – в междугородном сообщении. В дальнейшем, при создании транспортных систем с тоннелями, где для устранения сопротивления воздуха будет разрежена атмосфера, рельсовые электромобили на стальных колёсах станут разгоняться до 1500 км/ч. Тогда от края до края самой большой в мире территории – Союзного государства – можно будет проехать менее чем за 8 ч, с максимальным комфортом, без томительного ожидания в аэропортах и на вокзалах.

**Устройство быта в линейном городе.** Жилой кластер площадью порядка 100 га (размерами в плане около 1 км) – это пешеходное поселение городского типа. В нём будут комфортно проживать от 2000 (из расчёта 500 м<sup>2</sup>/чел, или 25 соток на среднюю семью из пяти человек) до 5000 жителей (200 м<sup>2</sup>/чел, или 10 соток на семью). Кластер спроектирован для строительства на суше, но при незначительных изменениях его можно возвести 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 остановки чаще чем через 1 км существенно снижают среднюю скорость движения подвижного состава, что применительно к данному случаю привело бы к увеличению времени поездки вдоль линейного города. А 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 размеры кластера в плане и длины пролётов в пределах 1,5 км являются оптимальными как с точки зрения пешеходной и транспортной городской логистики, так и по технико-экономическим показателям.

Жилая зона кластера линейного города будет разбита на кварталы, разделённые лесопарковой полосой, 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 жилой зоны, в 10-минутной пешей доступности от любой точки кластера, будет размещено здание-доминанта со станцией ЮСТ на одном из этажей (или на крыше). 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. Подвижным составом малошумного транспортного комплекса – своеобразного «небесного метро» – станут рельсовые электромобили на стальных колёсах, получившие название «юнимобиль».

Юнимобиль, движущийся высоко над поверхностью земли, что исключает негативное влияние на аэродинамику экранирующего сплошного дорожного полотна, значительно энергоэффективнее любого традиционного подвижного состава: автомобиля, автобуса, трамвая, поезда метро. Например, юнимобиль «зеленее» традиционного легкового электромобиля на пневматических шинах минимум в три раза, так как на аналогичную транспортную работу он расходует в три раза меньше энергии.

Жилые дома в кластере будут объединены в архитектурно-функциональную систему – многоквартирный протяжённый дом, своеобразный «горизонтальный небоскрёб», т. е. высотный дом, «лежащий на боку». Размеры линейного дома, в том числе его длина, могут варьироваться в достаточно широком диапазоне – от 100 м до 1 км.



Каждый дом (жилой площадью не менее 100 м<sup>2</sup>, а общей площадью не менее 300 м<sup>2</sup>) будет рассчитан на проживание средней семьи из пяти человек. Дома будут иметь два этажа – жилой и мансарду.

Здания могут быть выполнены каркасными с панелями из вакуумного стекла (ноу-хау инженера Юницкого) – теплоизоляционные свойства таких панелей толщиной до 20 мм эквивалентны, например, кирпичной стене толщиной 1,5 м. Здесь нагрузку будет нести каркас здания (стальной, железобетонный, иной), а вакуумное стекло должно обеспечить внутри дома комфортные условия для проживания человека – оптимальные температуру, освещённость, влажность воздуха, его чистоту и др. При необходимости такие панели легко трансформируются в экраны, на которые могут быть выведены любые изображения. Основного материала для строительства – песка – на планете хватит на триллионы «стеклянных» небоскрёбов. Немаловажно и то, что стеклянную стену не нужно штукатурить, красить, защищать от воздействия внешних факторов – экстремальных жары и холода, высокой влажности воздуха, повышенного содержания в воздухе пыли, песка, морских солей и др. При обеспечении соответствующей прочности (стекло может быть бронированным) такая высокоэффективная панель здания и, соответственно, само здание смогут прослужить сотни лет, не теряя своих потребительских качеств.

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

Каждый кластер будет устроен как самостоятельное поселение городского типа, хотя по организации проживания он скорее относится к сельским поселениям. Кластер будет обеспечен всем необходимым собственного производства – органической пищей, чистой водой, «зелёной» энергией, безопасным транспортом, иными продуктами и услугами. Это обеспечит продовольственную, энергетическую и инфраструктурную безопасность линейного города даже в условиях пандемий и локдаунов, других природных и рукотворных бедствий.

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) каждого «горизонтального небоскрёба» в 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 дома для проезда обслуживающей техники [33].

Это позволит централизованно, с максимальной механизацией и автоматизацией выращивать не только органические овощи и фрукты в теплицах (или оранжереях) на крыше, но и морепродукты и рыбу, как морскую, так и пресноводную, а также грибы, птицу и другую органическую продукцию для употребления в пищу. При этом обслуживание закрытой сельскохозяйственной зоны, полностью независимой от внешних природно-климатических условий, 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 также производиться в теплицах и оранжереях, в том числе выполненных в виде вертикальных ферм. По этой технологии в корневую систему растений подаётся раствор жидкого гумуса с природным набором питательных веществ. Посаженные семена в течение 5–7 суток дадут зелёные побеги – микрозелень, содержащую кладезь витаминов и тысяч биологически активных и минеральных веществ. Поскольку эволюционно все растения на планете генетически сформированы под питание органическим гумусом, то такую технологию, в отличие от традиционной природоподобной гидропоники на химических минеральных веществах, можно считать действительно природной.

Гумус – нерастворимые соли гуминовых кислот, запасы в почве [34], – 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 проведены в Республике Беларусь Крестьянским (фермерским) хозяйством «Юницкого» [32].

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 (комбикорм, луговое сено) гумусопонный корм из проростков пшеницы лучше усваивается, является более энергоёмким и включает в три раза больше белков и жиров, а по содержанию углеводов,

сахара и витаминов превосходит сухой корм примерно в 10 раз. Кроме того, он намного полезнее и эффективнее свежей травы и силоса. В отличие от любого 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, но и корневую часть, богатую сахарами и белками, а также остатки семян, содержащие крахмал. При этом в качестве подложки для проращивания семян можно использовать различные органические отходы, образующиеся в кластере: солому, жмых и даже специально подготовленную древесную щепу, которые микроорганизмы и корни растений переводят (ферментируют) в легко усваиваемое 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 (засуха, проливные дожди, жара, морозы) гумусопонные установки смогут в любом регионе круглогодично снабжать свежей зелёной пищей не только животных, но и людей, 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 необходимо около 1 м<sup>2</sup> пола, т. е. в 10 000 раз меньше. В такой технологии будут исключены (причём на больших в 10 000 раз природных территориях) механическая обработка почвы и внесение удобрений, а также такие трудозатратные операции, как посев, жатва, сбор урожая, транспортировка, сушка и др.

Производство сельскохозяйственной продукции в теплицах в условиях защищённого грунта, например сегодня в Нидерландах, даёт усреднённую урожайность не менее 50 кг/м<sup>2</sup> в год. Соответственно, достаточно иметь порядка 100 м<sup>2</sup> площади круглогодично работающих теплиц для обеспечения семьи из пяти человек органическими фруктами, овощами, ягодами и зеленью.

Если разместить теплицы на крышах «горизонтальных небоскрёбов», т. е. заменить традиционные крыши на круглогодично действующие теплицы (в жарких регионах –

на оранжереях), то каждый дом будет способен прокормить растительной пищей живущую в нём семью. Общая площадь природной почвы при таком городском строительстве не будет уменьшаться, ведь грунт из-под дома, даже если это песок пустыни, будет обогащён живым высокоплодородным гумусом и перенесён на крышу. Значит, строительство таких линейных городов не снизит, а, наоборот, увеличит количество плодородной почвы на планете. Вместе с тем такая почва станет более «зелёной» – она будет более продуктивной даже по сравнению с чернозёмом.

В теплице «горизонтального небоскрёба» или на его цокольном этаже, выполненном в виде общей агрофермы, будут выращиваться также грибы, рыба, морепродукты, мелкие животные (например, кролики) и птица (например, перепела) – для нужд жителей кластера и на реализацию.

Таким образом, жители кластера линейного города будут полностью обеспечены всем необходимым для жизни – органической пищей, питьевой водой, чистым воздухом, энергией и жильём. Ни государству, ни корпорациям не придётся брать на себя заботу о них. При этом жители линейных городов, имеющие всё нужное для удовлетворения первичных потребностей, продолжают выполнять ту или иную работу в рамках существующей общественно-экономической системы в целом. Их труд будет оплачиваемым. Доход они направят на приобретение товаров и услуг.

При стабильном снабжении базовыми товарами, продуктами и услугами объём спроса на всё остальное станет гораздо более предсказуемым. Риски перепроизводства, а значит, и экономических кризисов, будут сведены к минимуму. Общественная система получится максимально стабильной, так как даже лишившийся работы человек не окажется без средств к существованию. Следовательно, и вероятность того, что он отправится на «революционные баррикады», резко снизится. Государство сможет чувствовать себя гораздо спокойнее и стабильнее. Впрочем, как и все граждане страны и мира.

Описанные технологии уже созданы и проходят испытания и сертификацию в двух исследовательских центрах, расположенных в Республике Беларусь (г. Марьина Горка) и Объединённых Арабских Эмиратах (г. Шарджа). Построены и успешно эксплуатируются шесть типов инновационных зданий – таких, которые можно возводить в кластерах линейных городов, в том числе с теплицами на крышах, субтропической оранжереей и садом внутри дома.

Этот сад устроен по принципу природной экосистемы – все канализационные стоки в доме, включая кухню и туалет, идут в корневую систему растений. Там, под землёй, с помощью специально подобранных природных сообществ

микрофлоры и микрофауны (несколько тысяч видов, взятых из мирового Банка почв, созданного на территории Крестьянского (фермерского) хозяйства «Юницкого») все органические отходы перерабатываются в плодородный гумус и техническую воду, обогащённую жидким гумусом. Этот эксперимент подтверждает, что отходами своей жизнедеятельности человек способен прокормить не только себя, но и ещё одного человека, причём не только не отравив Живую Природу, но и обогатив её живым плодородным гумусом.

Необходимо отметить, что исследовательские центры ЮСТ построены на бросовых землях. В Беларуси – на месте военного полигона, изрытого танковыми гусеницами и снарядами, пропитанного порохом и соляжкой; в ОАЭ – в безжизненной пустыне. Эти территории за несколько лет превращены в оазисы, где растут сады и виноградники, в том числе под трассами ЮСТ [35, 36]. Например, в г. Марьина Горка посажено более 20 000 плодово-ягодных деревьев и кустарников, вырыто около 20 прудов и озёр, где обитают более 20 видов рыб, из них только осетровых – пять видов. И эта земля, которая десятилетиями убивалась военно-промышленным комплексом, не только реанимирована, но и, более того, на месте белорусских болот за несколько лет создано одно из лучших мест для отдыха и рыбалки в нашей республике.

Не менее успешно показали себя и транспортные системы «второго уровня» – Струнный транспорт Юницкого. ЮСТ практически реализован в ЭкоТехноПарке (г. Марьина Горка) и Центре испытаний и сертификации uSky (г. Шарджа): там уже построены и введены в эксплуатацию, начиная с 2016 г., шесть тестовых трасс общей протяжённостью более 4 км. В стадии строительства находятся ещё пять трасс общей протяжённостью более 7 км.

Разработчиком ЮСТ – инжиниринговой компанией ЗАО «Струнные технологии» (г. Минск, Беларусь) – спроектированы и изготовлены на собственном производстве 12 принципиально разных моделей беспилотных юнимобилей. Среди них – городские, грузовые и высокоскоростные междугородные, навесные и подвесные, в северном и тропическом исполнении, вместимостью от двух до 48 пассажиров [37]. Пять моделей юнимобилей уже сертифицированы, в том числе в тропическом исполнении. Испытаны и сертифицированы все необходимые элементы транспортной инфраструктуры – пассажирские станции, грузовые терминалы, стрелочные переводы, диспетчерские пункты, автоматизированные системы управления, системы энергетики и связи.

Совершенствование этих биосферных технологий ведётся уже около 50 лет. За минувший период комплекс

технологий, реализованных в рамках проекта, постоянно расширялся. Вначале проработана рельсо-струнная эстакада, первый тестовый участок которой был построен в 2001 г. в Подмоскowie (г. Озёры). Параллельно изучались возможности применения технологий в контексте развития населённых пунктов. Эта деятельность проходила в России в том числе под эгидой Организации Объединённых Наций в рамках двух грантов под руководством инженера А.Э. Юницкого (1998 г. и 2002 г.).

Первый образец юнимобиля четвёртого поколения (юнибайк) поехал по рельсо-струнной эстакаде в г. Марьина Горка в 2016 г. В это же время в активную фазу вошли разработки в области агро- и биотехнологий. Тогда же был создан Банк плодородных почв и почвенных микроорганизмов из более чем 100 регионов мира, который постоянно пополняется за счёт инвесторов струнных технологий (их свыше 500 000 человек), проживающих в 220 государствах и территориях. В настоящий момент все упомянутые конструкторские и технологические достижения защищены патентами в ведущих странах мира.

Сегодня у каждого есть возможность убедиться в жизнеспособности предлагаемых инфраструктурных технологий, дружественных биосфере: можно приехать в наши исследовательские центры и увидеть всё собственными глазами. ЗАО «Струнные технологии» – головная инжиниринговая компания, входящая в Unitsky Group of Companies, – готово предложить наши разработки тому, кто станет развивать технологии, позволяющие в короткие сроки совершить перезагрузку экономики на ускоренную индустриализацию биосферными инженерными технологиями. Данный шаг привлечёт колоссальные инвестиции, создаст десятки миллионов рабочих мест, простимулирует рост внутреннего спроса и предложения. Все необходимые технологии для этого имеются.

У ряда экспертов, в том числе у автора настоящего исследования, есть полное понимание того, что пространственной ниши для техносферы на Земле уже больше нет. Вернее, она есть, и может даже расширяться, но только за счёт замещения и уничтожения биосферы, которая исторически, миллиарды лет назад, уже заняла эту же пространственную нишу. При этом человечество не может отказаться ни от одной из базовых платформ своего существования – ни от биосферы, что означало бы исчезновение с планеты человека как вида биологических существ, ни от техносферы, что означало бы исчезновение с планеты человеческой цивилизации, существование и развитие которой основано на инженерных (индустриальных) технологиях.



Таким образом, мы приходим к выводу о необходимости и даже о неизбежности вынесения земной индустрии в обозримом будущем за пределы биосферы – в ближний космос. Именно в ближний, а не в дальний (ни на Луну, ни на Марс), – поближе к создавшей техносферу индустриальной цивилизации, чтобы упростить, облегчить и удешевить масштабную геокосмическую логистику по маршруту «Биосфера – Техносфера».

Многие учёные уже давно высказывают предложение о перемещении промышленных мощностей с Земли в космос – как одно из направлений развития земной техногенной цивилизации по спасению и биосферы, и человечества. Главные аргументы в данном вопросе: исчерпание ограниченных сырьевых и иных природных ресурсов, негативное влияние на экологию и климат, перенаселение планеты, экосистемы которой уже находятся на грани уничтожения из-за чрезмерной эксплуатации человеком.

Практическая реализация программы uSpace основана на безракетном освоении ближнего космоса и включает создание и запуск ОТС [38]. В программу также включено строительство взлётно-посадочной эстакады и всей геокосмической инфраструктуры: на Земле в полосе экватора и в ближнем космосе (околоземные орбиты в плоскости экватора на высотах порядка 400 км).

Стоит отметить, что такой геокосмический транспорт будущего будет выгодно отличаться от современных ракетных геокосмических решений: эффективностью (обеспечивая ежегодный грузо- и пассажиропоток в десятки миллионов тонн и десятки миллионов пассажиров); высокой комфортностью и экологичностью геокосмических перевозок (вследствие работы только на внутренних силах системы, без какого-либо механического и энергетического взаимодействия с атмосферой планеты); низкой себестоимостью перевозок (примерно в тысячу раз дешевле, чем с помощью ракет-носителей), с использованием только электрической тяги (по своей технической сути ОТС – это разновидность электромобиля, только геокосмического).

Таким образом, ОТС призвано вынести всё вредное промышленное производство за пределы планеты Земля, открывая перспективы использования условий невесомости, вакуума, сверхнизких и сверхвысоких температур, пространственных, энергетических и сырьевых ресурсов ближнего космоса и бескрайней Вселенной [39].

Названные биосферные технологии являются взаимодополняющими. Их комплексное внедрение позволит осуществить масштабную перезагрузку экономики любой страны, в первую очередь – Союзного государства.



## Глобальный эффект от ускоренной индустриализации биосферными инженерными технологиями

Глобальные процессы, характеризующиеся высокими темпами (увеличение численности населения, развитие индустрии и научно-техническая революция, появление и быстрое распространение новых видов производств и услуг, вовлечение в промышленное производство и расширение добычи природных ресурсов во всё большем количестве стран, рост потребления и, наконец, как результат, ускоренная деградация окружающей природной среды), являются важнейшей отличительной чертой второй половины XX – начала XXI в. В этих условиях необходимо выработать стабильный, безопасный и сбалансированный путь цивилизационного развития в системе «Человек – Природа – Экономика», так как становится очевидным, что наша техногенная цивилизация в очередной раз зашла в тупик. Поскольку эксперты связывают мировые экономические кризисы в основном с перепроизводством продукции, то избежать их можно, изменив сам характер производства и потребления товаров, продуктов и услуг.

Решение указанных проблем нуждается в новых подходах определения мировой и региональной экономической политики, разработке эффективных форм и методов управления прогрессивным развитием любой территории.

Разнообразные кризисы последнего времени показывают неустойчивость сложившейся в мире модели цивилизационного развития. Важный и общепризнанный недостаток этой модели – абсолютизация экономического роста в ущерб решению социальных и экологических проблем.

В докладах и документах структур ООН отмечается, что основой перехода к устойчивому развитию является формирование «зелёной» экономики [40]. Переход к данной экономической модели во всех странах будет осуществляться по-разному, поскольку он зависит от специфики природного, человеческого, физического (искусственного) и институционального капиталов каждого государства, уровня его развития и социально-экономических приоритетов, а также от культуры общества, в том числе в экологической сфере.

Концепция «зелёной» экономики не заменяет концепцию устойчивого развития. Однако сейчас всё шире признаётся тот факт, что достижение устойчивости почти полностью зависит от формирования правильной экономики. За прошедшие десятилетия человечество создавало новые богатства преимущественно на основе антиэкологичной модели «грязной» экономики.

Любое производство, любая человеческая деятельность не могут существовать в отрыве от природы и общества – они находятся в сочетании с окружающей природной (в первую очередь живой) и социальной средой, где определяющим является социум конкретной страны, имеющей многовековую и даже тысячелетнюю уникальную историю. Саму возможность человеческой деятельности создают природные условия и природные ресурсы, а природно-ресурсный потенциал территории влияет на уровень и качество жизни людей.

При этом «качество жизни» населения любой территории – весьма многоплановое понятие, включающее экономические, социальные, культурные, экологические и иные аспекты. Кроме того, «качество жизни» – категория эволюционирующая, отражающая комфортность материальной и духовной жизни человека на данном историческом этапе развития территории. В процессе взаимодействия природной и социальной среды и складывается окружающая человека природно-социальная среда. Она не только влияет на здоровье людей, но и определяет специфику жизнедеятельности и структуру хозяйствования каждого региона.

Высокие темпы урбанизации, ускорение и усложнение жизни в городе, где проживает большая часть мирового населения, обуславливают возрастающие потребности в рекреации значительного числа людей [27]. Однако реализация данной потребности автоматически приводит к увеличению нагрузки на природную среду и к её последующей деградации не только в пригородных, но и в отдалённых приморских зонах, в наибольшей степени отвечающих условиям рекреации городских жителей.

Перезагрузка мировой экономики на основе внедрения биосферных технологий в производственную, жилую и транспортную инфраструктуру, энергетику и сельское хозяйство – это путь к выходу из социального, экологического и ресурсного кризисов, в которых оказалось современное человечество. Развитие сети линейных городов в будущем создаст альтернативу современным мегаполисам. Весь мир станет выглядеть иначе.

Линейные города uCity будут гармонично вписаны в окружающую среду любой природно-климатической зоны на планете. При этом городская застройка не только не уменьшит площадь плодородной земли, а наоборот, будет способствовать её увеличению. Для своего устойчивого функционирования линейные города будут обеспечены всем необходимым: реликтовой «зелёной» энергией, органической пищей, артезианской (родниковой) питьевой водой и чистым воздухом, насыщенным лечебными



природными фитонцидами (выделяемыми растениями биологически активными веществами, убивающими и подавляющими рост и развитие болезнетворных бактерий, в том числе коронавируса). Благодаря iCity с планеты исчезнут пустыни, и в XXI в. Земля преобразится в цветущий сад, в котором станет безопасно и комфортно жить и трудиться всё будущее человечество – порядка 10 млрд человек [31].

Линейные города целесообразнее размещать на 10 м выше нынешнего уровня океана. Если когда-нибудь его уровень и поднимется (не важно, это произойдёт из-за естественного циклического глобального потепления или потепление будет вызвано человеческой деятельностью), то океан не затопит такие поселения.

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

Вдоль линейного города пройдёт воздушный транспортно-коммуникационный коридор iNet шириной порядка 100 м: высокоскоростные грузопассажирские междугородные, межрегиональные и межконтинентальные трассы ЮСТ (скорость до 500 км/ч) и гиперскоростные (скорость до 1500 км/ч), размещённые в форвакуумных тоннелях, а также грузовые системы.

Для того чтобы обеспечить комфортное движение, при котором центробежные ускорения должны быть ниже  $1 \text{ м/с}^2$ , радиусы кривых (как вертикальных, так и горизонтальных) на путевой структуре должны быть: для скорости движения 500 км/ч – не менее 20 км; для 1500 км/ч – не менее 200 км. Соответственно, сам линейный город может быть извилистым в плане, а высокоскоростные трассы вдоль него в обязательном порядке должны быть максимально прямолинейными.

При средней плотности расселения в линейном городе (например, 2000 чел/км) для проживания 10 млрд человек общая длина всех городов на планете (построенных вдоль коммуникационной сети iNet, совмещённых с электростанциями, линиями электропередач и связи)

составит 5 млн км. Тогда общемировая сеть линейных городов займёт площадь порядка 5 млн км<sup>2</sup>, или 1/27 земной суши (без учёта самого холодного континента – Антарктиды), а 26/27 суши будут отданы национальным паркам, заповедникам, заказникам и резервациям со щадящими режимами землепользования [33].

Кстати, площадь пустынь на планете (без учёта полярных пустынь Антарктиды и Арктики) – в четыре раза больше. То есть если озеленить пустыни и построить там линейные города, то в них смогут проживать 40 млрд человек, обеспеченных всем необходимым – жильём, пищей, питьевой водой, энергией, транспортом, работой, отдыхом. И не надо планировать, даже в самой отдалённой перспективе, освоение никому не нужного, далёкого, холодного и абсолютно чуждого для нас Марса, враждебного любому землянину. Всему человечеству хватит места на родной планете, нужно лишь научиться дружить с земной природой, а не враждовать с ней.

Подобные 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. Все дома (а это примерно 2 млрд зданий) в таких городах займут площадь около 200 000 км<sup>2</sup>, или 1/750 земной суши. Общемировая длина сети iNet с учётом поперечных линий и дорог «второго уровня», заходящих в охраняемые природные территории и месторождения природных ресурсов, составит в данном случае примерно 10 млн км.

*(Для сравнения. В настоящее время общая протяжённость мировой сети всех типов дорог – 68 млн км. Эти дороги уже отняли у земной биосферы лучшие земли, равные по площади, например, пяти Великобританиям, – именно такая территория сегодня «закатана» в асфальт и «похоронена» под шпалами. Эта земля убита – на ней нет жизни и нет зелёных растений, вырабатывающих кислород, необходимый не только для нашего дыхания, но и для работы созданной на планете промышленности. Кроме того, только автомобили ежегодно убивают на дорогах более 1,2 млн человек и делают инвалидами и калеками более 10 млн [41]. То, что реально происходит на планете уже сегодня, причём с каждым из нас, не волнует мировые квазиэлиты, этих «радителей» за «светлое будущее» всего человечества. Они маниакально озабочены только виртуальным (отдалённым и неочевидным) будущим: в частности, «глобальным потеплением» и «уровнем мирового океана», который, если и поднимется на несколько метров лет за 100, то затопит территории, значительно меньшие, чем пять*

*Великобританий (к тому же эта земля не будет уничтожена и тем более не будет изъята из природного биосферного гомеостаза, экологического и биологического). При этом поднявшийся уровень океана никого не погубит ни в прямом, ни в переносном смысле. Хотя за такое же время – 100 лет – только существующие дороги убьют на планете более 120 млн человек и сделают калеками более 1 млрд. И никакие «зелёные» электромобили, другие «зелёные» и «бескарбонные» технологии, кроме ЮСТ и пешеходных линейных городов, этих людей реально спасти не смогут.)*

Рядом с жилыми кластерами вдоль или поперёк линейного города будут расположены инфраструктурные кластеры иной функциональности: научные, учебные, производственные, спортивные, торгово-развлекательные, туристские, 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 будут размещены вне жилой зоны – в зоне транспортно-коммуникационного коридора iNet. При этом требуемый ежегодный объём грузовых перевозок по мировой сети рельсо-струнных дорог составит около 10 млрд тонн бурого угля и сланцев и примерно столько же плодородного гумуса.

В каждом кластере планируется иметь одну или несколько реликтовых солнечных биоэлектростанций общей мощностью до 10 000 кВт, размещённых вне жилой зоны. Они смогут производить в течение года до 50 000 тонн живого плодородного гумуса. Это позволит, например, ежегодно превращать порядка 1 км<sup>2</sup> пустыни (соответствует площади среднего жилого кластера) в плодородную землю, которая по качеству будет не хуже чернозёма. Таким образом, за 25–30 лет функционирования общепланетарный линейный город способен на всей земной суше повысить плодородие почв до уровня тучного чернозёма.

Кроме того, на реликтовых солнечных биоэлектростанциях может быть 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. Будут также получены химические элементы практически всей таблицы Менделеева, включая золото (содержание в сланцах – до 40 г/т), элементы группы платины, вольфрам, молибден, редкие, редкоземельные и другие металлы [33].

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 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, шлак, шлак. Такие технологии в России и Беларуси 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.

Понятно, что подобные глобальные изменения в экономике любого государства должны происходить постепенно. Можно начать с небольшого фрагмента линейного города вблизи современного мегаполиса или со струнной дороги, соединяющей новое поселение со старым либо аэропорт с соседним мегаполисом. Затем фрагменты линейного города можно продлить, связывая пешеходные кластеры друг с другом, пока длина города не достигнет сотен километров. Тогда появятся другие такие города. Жизнь в них будет безопасна и привлекательна. Воздух – чистый. Дети будут иметь возможность проводить больше времени на природе, не боясь попасть под колёса автомобиля. Жилой дом произведёт всё необходимое для полноценного питания проживающей в нём семьи. Небольшое сообщество из нескольких тысяч людей, значительная часть которых обеспечена работой в пешей доступности от своего дома, сможет успешно реализовывать разные модели самоуправления.

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.

Кластеры линейных городов станут базовой платформой самоорганизации сообществ для выживания в условиях жёсткой глобальной конкуренции при снижении

роли и значения государственных границ как неких социально-экономических регуляторов.

Мировой империализм, ориентированный на конкуренцию и прибыль, в течение столетий навязал всему человечеству псевдодемократию, основанную на лжи и базирующуюся на животном страхе людей перед будущим и на ненависти друг к другу и ко всему окружающему. Мы боимся потерять работу и возможность выплаты взятых под проценты кредитов; мы боимся заболеть «модной болезнью» и умереть, хотя понимаем причины и источники её возникновения и сопутствующих локдаунов, масок, тестов и иных ограничений наших свобод; нам навязывают ненависть к другим национальностям, социумам и странам с чуждой культурой и религией; мы боимся глобального потепления, углеродного следа, ужасающих природных и техногенных катастроф, терроризма и войн, которые происходят со всё возрастающей частотой и масштабами и сопровождаются пугающей информацией во всех СМИ, от чего нельзя нигде спрятаться, так как об этом говорят из «каждого утюга» – девайса и гаджета; мы боимся вакцинации, чипирования и «электронного концлагеря», но нас загоняют туда, как стадо баранов, ещё большим страхом – клеймом отрицательного социального рейтинга, ограничением конституционных и иных свобод, поражением в правах.

Психологически человек всегда стремится найти поддержку и взаимопонимание среди 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 важна своеобразная отдушина: понимание и солидарность, сопричастность без получения выгоды и прибыли, самореализация, общие духовно-нравственные ориентиры, культура и язык.

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, – 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 совершенствование, 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, таксистом 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 возобладают инновационная стратегия перехода локальных (кластерных) социумов технопотребителей к новому качественному состоянию – к социотехногенному обществу. Такая перенастройка вектора долгосрочного развития земной индустриальной цивилизации предполагает конверсию военно-промышленных комплексов, создание общепланетарной биосферной инфраструктуры (транспортной, производственной, жилой, энергетической, информационной, иной), использование социальных ресурсов территорий, духовного и интеллектуального потенциала каждого человека, энерго- и ресурсосберегающих технологий. Подобная трансформация будет осуществляться путём перехода с глобального экспорта ресурсов и сырья на экопроизводство товаров и услуг в кластерах линейных городов из этого же самого сырья, с опорой на собственные силы, межрегиональное взаимодействие и человеческое измерение в экологии [33].

Ёмкость мирового рынка согласно Программе перезагрузки мировой экономики на биосферный путь цивилизационного развития составит в XXI в. более 10 000 трлн USD. Можно обозначить семь основных секторов.

Первый – возведение экожиля в линейных городах, включая инфраструктуру, для 10 млрд человек.

Второй – ежегодное производство миллиардов тонн органической сельхозпродукции во всех без исключения кластерах линейных городов.

Третий – создание сетевой РСБЭ на буром угле и сланцах из расчёта до 5 кВт установленных энергетических мощностей на каждого жителя планеты.

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

Пятый – ежегодное производство миллиардов тонн живого высокоплодородного гумуса из отходов РСБЭ и органических отходов, образующихся в линейных городах.

Шестой – повышение природного плодородия почв и улучшение их биогеоценозов на десятках миллионов квадратных километров земной суши.

Седьмой – устранение пустынь на всех континентах и превращение планеты, родившей и вырастившей нашу человеческую цивилизацию, в цветущий сад, посаженный на тучном чернозёме.

Преобразовать существующую хозяйственно-экономическую систему (капиталистическую), не нарушая сложившуюся диспозицию сил и без потрясений, – вполне возможно. В данном случае, как и при реализации продвигаемых глобалистами либеральных программ, капиталисты также окажутся только в выигрыше.

Реализация такой 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.

### **Эффект для Союзного государства от перезагрузки экономики на биосферный путь цивилизационного развития**

Реализация комплексных решений, дружественных биосфере, обеспечит подъём всей экономики Союзного государства, как в России, так и в Беларуси.

Произведённый на реликтовых солнечных биоэлектростанциях живой и высокоплодородный 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 (для этих целей можно использовать и торф, разведанные запасы которого в Союзном государстве оцениваются в 200 млрд тонн) позволит экспортировать этот высококорентабельный 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 органической [33]. В свою очередь это будет инвестицией в здоровье населения Союзного государства и в человеческий потенциал. Очень важно, что такая продукция получена в шаговой доступности в каждом кластере линейного города и теми же производителями (жителями кластера), 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 каждого линейного города, а в будущем – и всего земного человечества на тысячелетия вперёд.

Создание новой транспортно-инфраструктурной отрасли на базе технологий ЮСТ обеспечит заказы для предприятий, занятых в строительстве, машиностроении, металлургии, химической промышленности, производстве стройматериалов, разработке программного обеспечения, электронике, энергетике, сельском хозяйстве и др.

Возведение линейных городов станет стимулом для рынка недвижимости, позволит осваивать отдалённые и труднодоступные территории. При этом значительную часть расходов на всё вышеописанное (энергетика, сельское хозяйство, транспорт, жильё, иное) смогут 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 традиционном высотном доме, детская площадка во дворе или парковка, – это части жилого комплекса, стоимость которых входит в стоимость покупаемой человеком квартиры.

Государство сможет 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 территории [33]. Для понимания того, что будет происходить, надо взглянуть на устройство быта в новых линейных поселениях.

Кроме того, при нынешнем уровне психологической нагрузки, быстрых изменениях современного мира, к которым необходимо также быстро адаптироваться, природа остаётся важнейшим инструментом борьбы человека со стрессом, переутомлением и другими реалиями городской жизни. Создание и сохранение «зелёных островков» в урбанистической среде является не только важнейшим элементом природных экологических составляющих,

таких как чистота воздуха и защита от шума, но и может использоваться как инструмент профилактики стрессов и эмоционального напряжения городских жителей.

Прогнозных запасов бурого угля, сланцев и торфа в Союзном государстве (более 1 трлн тонн) достаточно для обеспечения энергетических нужд будущего населения государства (200 млн человек) в течение тысячи лет из расчёта 5 кВт установленной мощности на каждого жителя. При населении, например, 400 млн человек данных энергетических ресурсов хватит на 500 лет, а при мощности 2,5 кВт/чел и населении 500 млн человек – на 800 лет. Вместе с тем будет произведено в общей сложности более 500 млрд тонн биогумуса, что позволит в совокупности вырастить на нём свыше 500 млрд тонн органической пищи, обеспечив продовольственную безопасность государства минимум на тысячу лет. Это также позволит превратить малоплодородные почвы в тучный чернозём на площади более 10 млн км<sup>2</sup>, что, в частности, больше площади Великобритании в 43 раза. При этом правильно организованное биосферное сельское хозяйство, участвующее в круговороте живого вещества на планете по исторически сложившимся природным механизмам, станет вечным, как и биосфера, которая, возникнув миллиарды лет назад, будет существовать, пока не погаснет её источник энергии – звезда по имени Солнце.

Такие инфраструктурные технологии в совокупности со струнным транспортом и линейными городами станут теми социально ориентированными биосферными технологиями, способными спасти нашу индустриальную цивилизацию от усиливающейся в последнее время социотехногенной деградации, которая может привести весь мир, в том числе и Союзное государство, к угасанию и гибели. Спасти нашу цивилизацию не смогут ни искусственный интеллект и цифровизация, ни традиционные электромобили и деиндустриализация, ни ветряные и солнечные электростанции, ни иные так называемые «зелёные» и «бескарбоновые» технологии, не только не решающие насущные проблемы человечества, но и наносящие Живой Природе значительный экологический ущерб.

Наличие у населения достойного жилья, любимой работы, уверенности в будущем, базовых продуктов потребления и услуг позволит в сжатые сроки решить демографическую проблему. Большинство семей станут многодетными, и к 2050 г. население Союзного государства вырастет до 200 млн человек и более. Для этого может быть введена специальная демографическая система ипотеки. Например, государство выделяет средства под ипотеку для строительства линейного города по программе

«Пять детей». При рождении (или наличии) первого ребёнка платежи по ипотеке уменьшаются на 20 %, при рождении (или наличии) второго ребёнка – на 40 % и т. д. При рождении (или наличии) пятого ребёнка ипотека полностью погашается.

В настоящее время в России около 1 млн многодетных семей, что очень мало для такой большой страны. Именно им необходимо будет в первую очередь предоставлять 20 % жилья в линейных городах; а бездетным и малодетным семьям – 80 % жилья. В Союзном государстве для устойчивого демографического роста должно быть не менее 10 млн многодетных семей, т. е. в 10 раз больше, чем сегодня. Для них и следует в течение первых 10 лет реализации Программы построить дома в линейных городах – по 1 млн домов в год, или по 2000 жилых пешеходных кластеров, если в каждом кластере будет в среднем 500 домов для проживания 2000–3000 жителей.

При таких темпах к 2050 г. планируется построить 25 млн домов, 50 000 кластеров, в которых станет проживать значительная часть населения государства – 125 млн человек.

Будет возведена сеть линейных городов общей протяжённостью около 50 000 км с двумя инфраструктурными скрепами самого большого государства в мире:

- меридианным: Мурманск – Петрозаводск – Санкт-Петербург – Великий Новгород – Тверь – Москва – Тула – Воронеж – Волгоград – Ростов-на-Дону – Краснодар – Сочи – Республики Закавказья с ответвлениями на Крым и вновь присоединённые территории;

- широтным: Брест – Минск – Смоленск – Москва – Владимир – Нижний Новгород – Чебоксары – Казань – Ижевск – Пермь – Екатеринбург – Тюмень – Омск – Новосибирск – Кемерово – Красноярск – Иркутск – Улан-Удэ – Чита – Биробиджан – Хабаровск – Уссурийск – Владивосток с меридианными ответвлениями на Урале, в Сибири, Якутии, Хабаровском крае и на о. Сахалин.

Будет построено около 50 000 км скоростных (скорость до 150 км/ч) городских дорог «второго уровня» общей стоимостью около 150 млрд USD (3 млн USD/км), что войдёт в стоимость жилья в линейных городах и обусловит его незначительное удорожание (всего на 3 %).





Транспортная составляющая российско-белорусской части мировой транспортно-инфраструктурной сети uNet, созданной вдоль линейных городов Союзного государства, в которую будут интегрированы линии электропередач и связи, в том числе мобильной, также включает следующие дороги ЮСТ, размещённые над землёй на втором уровне в направлениях Север – Юг и Восток – Запад:

- порядка 50 000 км высокоскоростных (скорость до 500 км/ч) междугородных грузопассажирских дорог общей стоимостью 350 млрд USD (7 млн USD/км). Эта стоимость также войдёт в стоимость жилья в линейном городе, что приведёт к его удорожанию всего на 7 %;
- около 50 000 км грузовых дорог (скорость до 150 км/ч) общей стоимостью 250 млрд USD (5 млн USD/км);
- примерно 20 000 км гиперскоростных (скорость до 1500 км/ч) междугородных грузопассажирских дорог общей стоимостью 800 млрд USD (40 млн USD/км).

Кроме того, вдоль всех национальных границ, в том числе в Арктике, будет создана контурная линия транспортно-оборонных кластеров, обеспечивающих (наряду

с основными социально-экономическими функциями) дополнительные функции, в частности автономных военно-оборонных форпостов, оборудованных самыми современными военно-оборонными комплексами. Здесь эффективно может быть решена проблема второй линии сплошного пограничного контроля благодаря связывающей форпосты высокоскоростной (до 500 км/ч) грузопассажирской транспортно-коммуникационной сети. Оснащённая современными контрольно-пропускными и наблюдательными комплексами, такая транспортно-коммуникационная сеть «второго уровня» при необходимости сможет обеспечить сверхбыстрое перераспределение личного состава и техники между форпостами и переброску военных сил на любой участок государственной границы.

По рельсо-струнным дорогам в постоянном режиме могут курсировать со скоростью до 500 км/ч закамуфлированные под грузовой юниomobilь пусковые установки (например, с крылатыми ракетами), которые могут быть запущены без остановки транспорта, т. е. на ходу. Потенциальному противнику весьма сложно будет обнаружить подобные установки и обезвредить их, так как за сутки

они способны изменить свою дислокацию на сети дорог uNet на расстояние до 10 000 км.

Построенные российскую и белорусскую части сети дорог uNet будут обслуживать десятки тысяч пассажирских станций, грузовых терминалов, сервисных мастерских с единой автоматизированной системой управления, созданной по надёжно защищённой цифровой технологии блокчейн. По воздушным дорогам станут перемещаться миллионы юниomobilей (городские, междугородные, грузовые), оборудованных бортовыми системами управления. Таким образом, в инфраструктуре и подвижном составе сети uNet будут функционировать миллионы компьютеров, объединённых в общий распределённый комплекс – раскинувшийся на миллионах квадратных километров суперкомпьютер, связанный миллионами километров нейронных и энергетических сетей, интегрированных в рельсо-струнную путевую структуру. Его вычислительные возможности колоссальны, а сетевая коммуникационная структура (транспортная, энергетическая и информационная) неуязвима перед любыми угрозами: климатическими, техногенными, военными или террористическими.

Наивысшая степень защищённости Союзного государства будет обусловлена не только сетевым характером транспортно-инфраструктурных функций линейных городов и сети uNet, но и их обеспеченностью всеми базовыми видами государственной безопасности: инфраструктурной, транспортной, энергетической, производственной, сырьевой, жилой, социальной, информационной, демографической, трудовой, продовольственной, водной, иной.

Кроме того, весь будущий интернет и мобильная связь Союзного государства могут строиться как согласно своим союзным независимым стандартам, так и интегрироваться в путевую структуру сети uNet. Для данных коммуникационных линий не нужны сотовые вышки и космические спутники связи: их функции возьмут на себя элементы транспортной и энергоинформационной инфраструктуры – анкерные и промежуточные опоры, станции, терминалы, реликтовые солнечные биоэлектростанции, а также подвижной состав и рельсо-струнная путевая структура, в которую интегрированы защищённые энергетические и информационные сети.

Вместе с тем автоматизированные системы управления транспортно-информационной сетью uNet и линейными городами, созданные по технологии блокчейн, легко совмещаемы с производством электронной расчётной единицы – собственной криптовалюты. Её майнинг будет осуществляться автоматически, без дополнительного

потребления ресурсов и энергии, в процессе, например, выполнения полезной транспортной работы, т. е. в ходе грузовых и пассажирских перевозок. Следовательно, чем больше будет произведено пассажиро-километров и тонно-километров перевозок по сети uNet, чем больше будет получено киловатт-часов электрической энергии, тонн биогумуса и сельскохозяйственной продукции в линейных городах, тем выше станет реальная (а не виртуальная) ценность такой расчётной единицы.

Криптовалюта uNet будет действительно обеспечена и привязана к транспортной, энергетической, жилой, производственной и иной инфраструктуре и её эффективному функционированию на всей планете, т. е. к настоящим цивилизационным ценностям. Поэтому со временем она трансформируется в основную мировую цифровую валюту, подконтрольную Союзному государству (таким образом Союзным государством может быть создан цифровой аналог Федеральной резервной системы США).

#### Бюджет проекта

При средней стоимости дома 200 000–250 000 USD (с учётом стоимости городской инфраструктуры в линейном городе) ежегодный бюджет проекта составит примерно 200 млрд USD. Тогда в течение 25 лет (примерно к 2050 г.) следует вложить в городское строительство линейного типа 5 трлн USD. В эту стоимость входят не только затраты на возведение 25 млн двух- и трёхэтажных жилых домов общей площадью 7,5 млрд м<sup>2</sup> и создание сети городских и междугородных высокоскоростных дорог общей протяжённостью около 100 000 км. В неё включена также стоимость всей соответствующей городской инфраструктуры пешеходных линейных городов, 250 000 га теплиц и оранжерей, 25 млн га высокоплодородных приусадебных участков, на которых будут посажены сады – более 1 млрд плодово-ягодных растений.

Планируется построить 50 000 жилых кластеров (по своей сути, посёлков городского типа), имеющих 250 000 км благоустроенных улиц и обеспеченных всем необходимым для достойного, комфортного и безопасного проживания большей части населения Союзного государства. Кроме того, в указанную стоимость входит создание принципиально новой сетевой энергетической системы государства – РСБЭ общей установленной мощностью около 600 млн кВт для генерации 270 млн кВт электрической и 330 млн кВт тепловой энергии. Данные показатели превышают всю современную антибиосферную энергетику России и Беларуси, общая мощность которой – около 260 млн кВт.

Весь указанный жилой фонд государства с соответствующей инфраструктурой (включая транспортную, энергетическую и сельскохозяйственную – общей стоимостью порядка 5 трлн USD) оплатит население. Граждане Союзного государства приобретут дома в кластерах линейных городов, в которых, став жителями самой большой территории в мире (к тому времени самой безопасной, комфортной и обустроенной, с одним из самых высоких уровней жизни в мире), будут достойно жить и трудиться.

Из бюджета необходимо оплатить только 1050 млрд USD (строительство 70 000 км грузовых и гиперскоростных эстакадных дорог ЮСТ), или по 42 млрд USD ежегодно. Возводимые дороги нужно сделать в том числе транзитными (т. е. с более высокой производительностью), так как союзная транспортно-инфраструктурная и коммуникационно-логистическая сеть uNet может быть продолжена в следующих направлениях:

- восточном: через Монголию и Казахстан – в Юго-Восточную Азию, в первую очередь в Китай и Индию; в Японию;
- северном: через Берингов пролив – в Канаду и США;
- западном: в г. Калининград; в г. Лондон (и г. Париж).

Кроме того, гиперскоростные трассы сети uNet с вакуумными тоннелями, размещёнными с нулевой плавучестью на глубине порядка 50 м, смогут пройти через океаны (на западе – через Атлантический; на востоке – через Тихий) и соединить между собой через Россию и Беларусь не только Азию и Европу, но и Евразию с Америкой. Тогда, например, из Москвы в Лондон можно будет добраться за 2,5 ч, а из Лондона в Нью-Йорк – за 4,5 ч, что быстрее и безопаснее, чем на самолёте (такой проект инженер А.Э. Юницкий впервые предлагал ещё более 30 лет назад) [42].

Для строительства союзной части мировой транспортно-, энерго-, информационно- и инфраструктурной сети uNet можно привлечь иностранный капитал, а также средства, выведенные российским бизнесом за рубеж в предшествующие годы, так как инвестиции в таком случае станут давать стабильный доход не только в XXI в., но и в последующие века.

Сеть союзных линейных городов uCity будет производить ежегодно порядка 500 млн тонн живого гумуса – более плодородного и эффективного, чем чернозём (в природном чернозёме содержится от 5 % гумуса), общей рыночной стоимостью порядка 500 млрд USD. Из тонны рассыпчатого биогумуса, если внести его в неплодородную почву (в том числе в песок пустыни), можно получить до 20 тонн чернозёма. Соответственно, 500 млн тонн живого гумуса в сельскохозяйственном производстве эквивалентны

10 млрд тонн чернозёма. Половину произведённого биогумуса, как побочного отхода работы РСБЭ (по своей экономической сути он достанется производителю фактически бесплатно), можно расходовать на нужды Союзного государства, а другую половину направлять на экспорт. При цене биогумуса 1000 USD/т это даст порядка 250 млрд USD экспортной выручки ежегодно, что в настоящее время почти в два раза превышает выручку от продажи сырой российской нефти за рубеж.

В Союзном государстве планируется создание более 25 млн новых высокооплачиваемых рабочих мест – не только в жилых, но и в близлежащих инфраструктурных кластерах (производственные, научные, учебные, спортивные, туристские, торгово-развлекательные, рекреационные и др.), расположенных в пешей доступности. Подобных кластеров необходимо примерно в 10 раз меньше, чем жилых, – порядка 5000. Следовательно, как жилые, так и промышленные зоны в России и Беларуси будут иметь сетевую (кластерную, или сотовую) структуру, очень устойчивую к внешним и внутренним вызовам, самообеспеченную и самодостаточную, распределённую по всей территории государства, от севера до юга и от запада до востока, сориентированную преимущественно на внутренний спрос и ресурсы. Данный принцип организации обеспечит инфраструктурную безопасность – такое государство невозможно победить.

К тому времени население государства может вырасти до 200 млн человек и более; нынешние Россия и Беларусь, находящиеся под санкциями и демонизируемые их геополитическими конкурентами в этом сошедшем с ума современном мире, превратятся в высокоразвитое, самодостаточное и процветающее единое государство, достойный пример для подражания всем другим странам (и не важно – развитым или развивающимся), избравшим по настоящему мировых квазиэлит регрессивный путь своего цивилизационного развития. Такой либеральный вектор, ведущий в цивилизационный тупик, которого сможет избежать Союзное государство благодаря предлагаемой альтернативной Программе, основан не только на упомянутой выше программе «5D» (диджитализация, декарбонизация, деиндустриализация, десоциализация, депопуляция), но и ещё на множестве менее значимых, но таких же регрессивных «D»: демотивация, дестабилизация, декапитализация, денационализация, деградация, дебилизация и дебиологизация людей, социумов и человечества в целом [33].

Союзное государство России и Беларуси имеет обширное наследие и производственную базу со времён СССР в виде инженерных и научных школ с глубоким

погружением в проблемы освоения космоса, а также технологии, позволившие в 1961 г. полететь в космос первому человеку, русской национальности.

В настоящее время одной из таких промышленных площадок с высоким уровнем инженерно-интеллектуального потенциала выступает UGC – международная группа компаний Юницкого. Для достижения общей глобальной цели – перехода к биосферному пути цивилизационного развития человечества – UGC объединила как инженеров, создающих транспортно-инфраструктурные комплексы ЮСТ и общепланетарное транспортное средство, биотехнологов, организуемых комфортную жизнь в замкнутых экосистемах, так и юристов, финансистов и социологов, предлагающих сценарии устойчивого, на века, развития земной индустриальной (т. е. инженерной) цивилизации. Все эти работы ежегодно представляются на проходящей в г. Марьина Горка международной научно-технической конференции «Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты» [43] и направлены на повышение качества жизни людей в нашем общем доме – на планете Земля.

Согласно ст. 2 Венской конвенции Россия и Беларусь, как полноправные субъекты международного права, могут выступить инициаторами договоров о международном сотрудничестве для реализации широкомасштабной программы «ЭкоМир» и её космического вектора – программы uSpace.

Правительства Союзного государства, России и Беларуси и их Президенты могут избрать свой уникальный биосферный путь прогрессивного цивилизационного развития: защита независимости, самоидентичности и суверенитета (в том числе технологического), сбережение народа, ускоренная индустриализация, социализация и демографизация, создание инфраструктурных скрепов – не только территориальных, но и ресурсных (где, в частности, ресурсами также являются территория, плодородная почва, чистый воздух, природная питьевая вода), а также национальных, социальных и конфессиональных.

Программа перезагрузки Союзного государства России и Беларуси на биосферный путь цивилизационного развития снимет все сегодняшние боли Союзного государства и решит все его главные задачи, причём в долгосрочной перспективе, а именно: обеспечит инфраструктурную, ресурсную, продовольственную, транспортную и энергетическую безопасность, переформатирует экспортно-сырьевую ориентацию экономики на внутренний спрос и транспортно-инфраструктурное развитие своей самой большой в мире территории, урегулирует вопросы импортозамещения, создаст условия для ускоренного

роста численности коренного населения, а также решит проблемы, связанные с чрезмерной урбанизацией, деградацией плодородных почв и опустыниванием.

Следует также отметить, что затраты, необходимые для перезагрузки экономики Союзного государства на биосферный и социально ориентированный путь развития экономики и общества, не такие и значительные – они находятся на уровне других российских программ, существенно менее важных. Например, таких как Транспортная стратегия России на период до 2030 г., утверждённая в 2008 г. для решения только транспортных проблем, затраты на реализацию которой на момент принятия оценивались почти в те же 5 трлн USD [44].

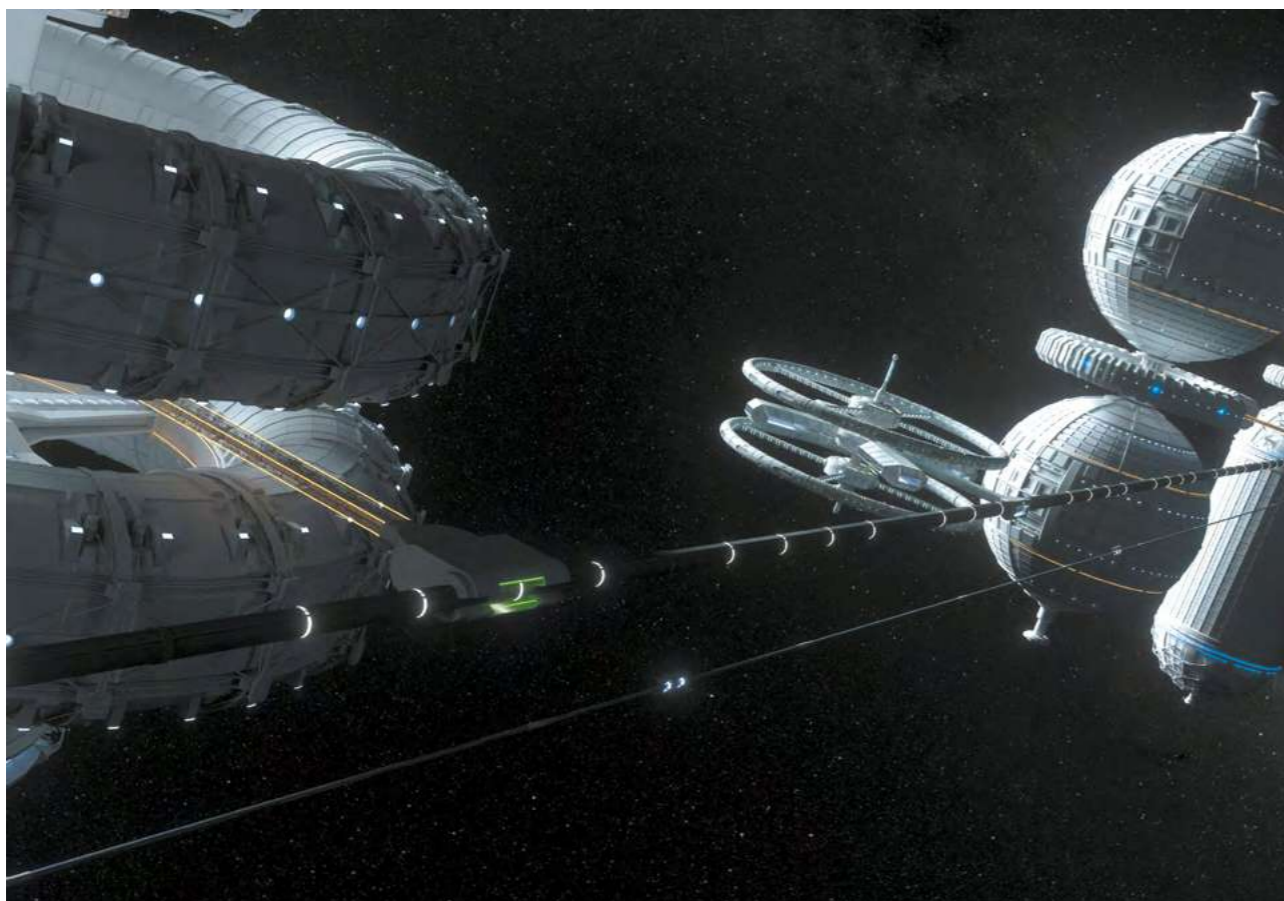
### **Программа «ЭкоМир», или Роль Союзного государства в вопросе выживания всего человечества**

Экономические ресурсы Союзного государства, а также его социальные и политические институты могут стать основой для реализации масштабной программы «ЭкоМир», в том числе её космического вектора – программы uSpace, целью которой является индустриализация ближнего космического пространства.

Как упоминалось ранее, программа uSpace предполагает создание глобальной транспортно-инфраструктурной системы, ключевыми элементами которой выступают экваториальный линейный город (ЭЛГ) со взлётно-посадочной эстакадой, ОТС и космическое индустриальное ожерелье «Орбита» (КИО «Орбита») на низких экваториальных орбитах.

Экваториальный линейный город – это вытянутая вдоль экватора система жилых, производственных, энергетических, логистических и прочих инфраструктурных объектов. Основные элементы ЭЛГ распределяются вдоль эстакады ОТС и помимо выполнения обычных для любых городов функций предназначены для обслуживания и организации взлётов и посадок ОТС, а также для распределения пассажиров и грузов, перемещающихся по маршруту «Земля – Орбита – Земля».

Общепланетарное транспортное средство – самонесущий летательный аппарат, опоясывающий планету в плоскости экватора. Представляет собой тор с поперечным сечением около 1,5 м с расположенным в сердцевине линейным электродвигателем. За счёт вращения вокруг планеты ленточных маховиков, размещённых в продольных вакуумных каналах, обеспечивается центробежная сила,



достаточная для подъёма на орбиту. Выход в космос осуществляется за счёт раскрутки вокруг планеты корпуса ОТС (после подъёма за пределы атмосферы) до первой космической скорости, равной 7,91 км/с. Такой транспорт может совершать до 100 рейсов в год и доставлять в космос и обратно до 10 млн тонн грузов и до 10 млн пассажиров за каждый рейс [39]. Это позволит за короткое время осуществить индустриальное освоение ближнего космоса.

Космическое индустриальное ожерелье «Орбита» – система расположенных на околоземной орбите объектов промышленного, жилого и энергетического назначения. Комплекс предназначен для обслуживания потребностей населения Земли в космической промышленной продукции и энергии. Позволяет получить доступ к безграничным ресурсам космоса – пространственным, энергетическим, сырьевым и технологическим (невесомость, глубокий вакуум, технологическая чистота).

Союзное государство, внутри которого предлагается отработать ряд основополагающих для программы uSpace технологий (линейные города и связывающий

их струнный транспорт, иное), может выступить основным их поставщиком в рамках реализации проекта – самого масштабного за всю историю цивилизации. Для этого вокруг институтов Союзного государства необходимо организовать блок, в который войдут расположенные на экваторе страны и другие участники.

Цели блока будут носить исключительно мирный созидательный характер. Их достижение обеспечит необходимые предпосылки для поэтапного выноса вредной для природы части техносферы за пределы планеты и продолжительного устойчивого развития нашей цивилизации в масштабах всей Земли без ограничений по количеству доступных ресурсов и численности населения. Таким образом, предлагаемая программа перезагрузки может получить глобальное развитие и способствовать решению экологических, демографических и политических проблем, ставящих под вопрос выживание всего земного человечества, причём, что не исключено и вполне вероятно, – единственной Разумной Цивилизации в нашей необъятной Вселенной.

## Выводы

Транспортно-инфраструктурная сеть uNet должна изначально строиться на территории Союзного государства с учётом будущих транзитных грузовых и пассажирских перевозок в направлениях Восток – Запад и Север – Юг. Поэтому широтная линия uNet в дальнейшем может быть продлена:

- на западе: по маршруту «Брест – Варшава – Берлин – Брюссель – Лондон – Париж – Мадрид – Лиссабон»;
- на востоке: по маршрутам «Хабаровск – Комсомольск-на-Амуре – о. Сахалин – Токио», «Улан-Удэ – Улан-Батор – Пекин – Шанхай», «Хабаровск – Магадан – Анадырь – Берингов пролив – Аляска – Канада – Лос-Анджелес – Вашингтон – Нью-Йорк»;
- на юге: по маршруту «Омск – Астана – Ташкент – Душанбе – Кабул – Исламабад – Нью-Дели – Ханой – Шанхай».

В строительстве общемировой сети линейных городов и транспортно-инфраструктурной сети uNet будут заинтересованы все азиатские, европейские и североамериканские страны, поэтому единое мировое транспортно-инфраструктурное пространство нового поколения может создаваться за их средства. При правильно выбранной стратегии за счёт зарубежных инвестиций может быть полностью профинансирована и союзная составляющая общемировой сети uNet. Вместе с тем единое Союзное государство станет законодателем прогрессивных тенденций в науке и технике и общемировым лидером в перезагрузке мировой экономики на описанный выше биосферный путь технологического, социального и цивилизационного развития.

Российская Федерация и Республика Беларусь из стран-изгоев, находящихся под санкциями и демонизируемых мировым глобалистским олигархатом, трансформируются в процветающее единое государство – пример для подражания как страны-победительницы в идущей на планете необъявленной войне идеологий и векторов цивилизационного развития, в которой победит не летальное оружие, а интеллект, причём не искусственный, цифровой (т. е. природоподобный), а естественный, натуральный, человеческий (т. е. природный).

Важно консолидировать внутренние ресурсы (уже имеющиеся в наличии) и нарастить собственные интеллектуальные компетенции, отсутствующие в других странах, что на Востоке, что на Западе, в том числе за счёт подготовки необходимых специалистов. Нужно как можно быстрее перейти от потребительского капитализма (который рано или поздно приведёт всю нашу цивилизацию к суициду) к принципиально новому созидательному и социально ориентированному укладу мировой экономики.

При этом главным оружием Союзного государства станут не сверхзвуковые ракеты и ядерные боеголовки, а минеральные и территориальные ресурсы – около 20 % всех мировых запасов. Данные ресурсы должны принадлежать не Западу и ориентированным на Запад профессиональным либералам-глобалистам, не приближённым к власти чиновникам и олигархам, а государству и народу – тогда Союзное государство выиграет любую войну, даже столетнюю.

Россия и Беларусь вместе с многонациональным народом Союзного государства ещё раз докажут своё величие и особую цивилизационную роль в мире, подтверждая пророческие слова о Москве как о «Третьем Риме, который стоит» и о «Четвёртом Риме, которому не бывать».

## Литература

1. *Чем интересны панголины и почему им угрожает опасность [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://animaljaws.com/chem-interesny-pangoliny-i-pochemu-om-ugrozhaet-opasnost.html>. – Дата доступа: 14.09.2022.*
2. *Учёные: на Земле существует триллион видов живых существ [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <https://ria.ru/20160504/1426121658.html>. – Дата доступа: 11.09.2022.*
3. *Горкин, А.П. Энциклопедия «Биология» [Электронный ресурс]: в 2 ч. / А.П. Горкин. – Ч. 1: А – Л (с ил.). – Режим доступа: <https://fictionbook.ru/static/trials/00/16/05/00160515.ab.pdf>. – Дата доступа: 14.09.2022.*
4. *Иммунитет звереет от фастфуда [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <https://www.nkj.ru/news/33044/>. – Дата доступа: 11.09.2022.*
5. *Русакова, Е. Пищевая добавка-антиоксидант ослабила иммунитет больных гриппом мышей [Электронный ресурс] / Е. Русакова. – 2019. – Режим доступа: <https://nplus1.ru/news/2019/04/08/butylhydroquinone>. – Дата доступа: 10.09.2022.*
6. *Пезенти, А. Закон Сэя. Закон сбыта. Неизбежность кризисов в процессе капиталистического развития [Электронный ресурс] / А. Пезенти // Очерки политической экономики капитализма: в 2 т. / А. Пезенти. – 1976. – Т. 1. – Режим доступа: <http://www.bibliotekar.ru/2-8-75-politicheskaya-ekonomiya/102.htm>. – Дата доступа: 07.09.2022.*
7. *Стиглиц, Д.Е. Идеологический кризис западного капитализма [Электронный ресурс] / Д.Е. Стиглиц. – 2011. – Режим доступа: <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0012/001c/00122252.htm>. – Дата доступа: 01.09.2022.*

8. Суманеев, Ю. Глобальные изменения политического климата [Электронный ресурс] / Ю. Суманеев. – 2018. – Режим доступа: <https://interaffairs.ru/news/show/21054>. – Дата доступа: 05.09.2022.
9. Давос 2022 [Электронный ресурс]. – 2022. – Режим доступа: <https://katehon.com/ru/article/davos-2022>. – Дата доступа: 09.09.2022.
10. Беларусь – та страна и тот островок машиностроительной индустрии, которые сохранились и очень нужны России [Электронный ресурс]. – 2022. – Режим доступа: <https://www.sb.by/articles/retsept-boglaeva.html>. – Дата доступа: 09.09.2022.
11. Головченко: Беларусь и Россия вместе могут противостоять любому внешнему давлению [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://www.belta.by/politics/view/golovchenko-belarus-i-rossija-vmeste-mogut-protivostojat-ljubomu-vneshnemu-davleniju-473538-2021/>. – Дата доступа: 08.09.2022.
12. Кузнецов, Е. Запечатано в кубышке: объём замороженных средств ФНБ оценили в треть [Электронный ресурс] / Е. Кузнецов. – Режим доступа: <https://iz.ru/1319618/evgenii-kuznetcov/zapechatano-v-kubyshke-obem-zamorozhennykh-sredstv-fnb-otcenili-v-tret>. – Дата доступа: 08.09.2022.
13. West Must Hit Russian Economy Even Harder, Says Liz Truss [Electronic resource]. – 2022. – Mode of access: <https://www.theguardian.com/world/2022/apr/05/liz-truss-russian-economy-foreign-currency-reserves-ukraine-war-putin>. – Date of access: 07.09.2022.
14. Глава МВФ Георгиева предупредила, что 41 млн человек в арабском мире подвержены риску нехватки продовольствия [Электронный ресурс]. – 2022. – Режим доступа: <https://live24.ru/v-mire/glava-mvf-georgieva-predupredila-chto-41-mln-chelovek-v-arabskom-mire-podverzhen-risku-nehvatki-prodovolstviya.html>. – Дата доступа: 07.09.2022.
15. Устойчивое развитие и «зелёная» экономика в России: актуальная ситуация, проблемы и перспективы [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа: [https://ecodelo.org/rossiyskaya\\_federaciya/27342-ustoychivoe\\_gazvitie\\_i\\_zelenaya\\_ekonomika\\_v\\_rossii\\_aktualnaya\\_situaciya](https://ecodelo.org/rossiyskaya_federaciya/27342-ustoychivoe_gazvitie_i_zelenaya_ekonomika_v_rossii_aktualnaya_situaciya). – Дата доступа: 06.09.2022.
16. Бобылев, С.Н. Кризис: экономика и экология / С.Н. Бобылев, В.М. Захаров; Ин-т устойчивого развития, Центр эколог. политики России, Обществ. палата РФ. – М.: Типография ЛЕВКО, 2009. – 84 с.
17. Устойчивое развитие: вызовы Рио: докл. о человек. развитии в Рос. Федерации за 2013 г. / под общ. ред. С.Н. Бобылева. – М.: РА ИЛЬФ, 2013. – 202 с.
18. Дуэль, А. Абрамченко назвала города России с самым загрязнённым воздухом [Электронный ресурс] / А. Дуэль. – 2021. – Режим доступа: <https://rg.ru/2021/01/29/reg-urfo/abramchenko-nazvala-goroda-rossii-s-samyim-zagriznennym-vozduhom.html>. – Дата доступа: 03.09.2022.
19. Иванов, Н.И. Проблема шума в Российской Федерации: «кто виноват?» и «что делать?» / Н.И. Иванов // Защита от повышенного шума и вибрации: докл. IV всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Санкт-Петербург, 26–28 марта 2013 г. / под ред. Н.И. Иванова. – СПб.: Айсинт, 2013. – С. 14–35.
20. Понятие и причины деградации почв [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://agroportal-ziz.ru/articles/ponyatie-i-prichiny-degradacii-pochv>. – Дата доступа: 02.09.2022.
21. Деградация земель – Land degradation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://dev.abcdef.wiki/wiki/Land\\_degradation](https://dev.abcdef.wiki/wiki/Land_degradation). – Дата доступа: 02.09.2022.
22. ФАО: к 2050 году производство продуктов питания нужно увеличить на 60 % [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <https://produkt.by/news/fao-k-2050-godu-proizvodstvo-produktov-pitaniya-nuzhno-uvlechit-na-60>. – Дата доступа: 01.09.2022.
23. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2020 году [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: [https://rosreestr.gov.ru/upload/Doc/16-upr/Gosudarstvennyj%20\(natsionalnyj\)%20doklad\\_2020.pdf](https://rosreestr.gov.ru/upload/Doc/16-upr/Gosudarstvennyj%20(natsionalnyj)%20doklad_2020.pdf). – Дата доступа: 02.09.2022.
24. Цифровые технологии для обследования состояния земель сельскохозяйственного назначения беспилотными летательными аппаратами / В.Я. Гольяпин [и др.]. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. – 88 с.
25. The Global Risks Report 2020. – 15<sup>th</sup> ed. – Geneva: World Economic Forum, 2020. – 96 p.
26. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года [Электронный ресурс]: распоряжение Правительства Рос. Федерации, 27 нояб. 2021 г., № 3363-р // Правительство Российской Федерации. – Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/7enYF2uL5kFZIOpQhLIOnUT91RjCbeR.pdf>. – Дата доступа: 06.09.2022.
27. Хуснутдинова, С.Р. Устойчивое развитие современных городов / С.Р. Хуснутдинова // Вестник Казанского технологического университета. – 2010. – № 2. – С. 421–429.
28. Выступление Д.А. Медведева на третьей сессии пленарного заседания Конференции ООН по устойчивому развитию «Рио+20» [Электронный ресурс] – 2012. – Режим доступа: <http://archive.government.ru/stens/20349/>. – Дата доступа: 02.09.2022.
29. Егорова, М.С. Экономические механизмы и условия перехода к «зелёной» экономике / М.С. Егорова // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 6 (ч. 6). – С. 1262–1266.
30. Программа «ЭкоМир»: безракетная индустриализация ближнего космоса [Электронный ресурс]. – 2022. – Режим доступа: [https://unitsky.engineer/assets/files/shares/2022/uSpace\\_program\\_2022.pdf](https://unitsky.engineer/assets/files/shares/2022/uSpace_program_2022.pdf). – Дата доступа: 25.08.2022.
31. Юницкий, А.Э. Цивилизационная ёмкость космического дома по имени Планета Земля [Электронный ресурс] / А.Э. Юницкий. – М.: Мир науки, 2022. – 136 с. – Режим доступа: <https://izd-mn.com/PDF/08MNNPM22.pdf?ysclid=la98apfobr284127861>. – Дата доступа: 10.09.2022.
32. 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. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – С. 36–73.
33. Юницкий, А.Э. Цивилизационная ёмкость космического дома по имени Планета Земля / А.Э. Юницкий // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы IV междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 18 сент. 2021 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2022. – С. 23–73.
34. Юницкий, А.Э. Исторические предпосылки программы SpaceWay как единственного пути устойчивого развития цивилизации технократического типа / А.Э. Юницкий // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 23–29.
35. ЭкоТехноПарк в Беларуси [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://unitsky.engineer/projects/ecopark>. – Дата доступа: 19.09.2022.
36. Центр испытаний и сертификации uSky [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://unitsky.engineer/projects/usky>. – Дата доступа: 21.09.2022.
37. Транспортные решения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ust.inc/transport-solutions>. – Дата доступа: 17.09.2022.
38. uSpace – геокосмическая программа безракетного освоения ближнего космоса для спасения жизни на Земле [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://aet.space/?lang=ru>. – Дата доступа: 21.09.2022.
39. Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакросс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.
40. Навстречу «зелёной» экономике: пути к устойчивому развитию и искоренению бедности [Электронный ресурс]: обобщающий докл. для представителей власт. структур / ЮНЕП. – 2011. – Режим доступа: [http://old.ecocongress.info/5\\_congr/docs/doklad.pdf](http://old.ecocongress.info/5_congr/docs/doklad.pdf). – Дата доступа: 17.09.2022.
41. В автокатастрофах ежегодно гибнут 1,2 млн человек [Электронный ресурс]. – 2004. – Режим доступа: <https://www.rbc.ru/society/07/04/2004/5703bcd9a7947afa08cae5?ysclid=la9fb4gr87100112824>. – Дата доступа: 13.09.2022.
42. Юницкий, А.Э. Инженер: автобиография / А.Э. Юницкий. – Минск: Белпринт, 2021. – 400 с.: ил.
43. Ежегодная международная научно-техническая конференция «Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты» (NRNSI) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://aet.space/conference?lang=ru>. – Дата доступа: 11.09.2022.
44. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года [Электронный ресурс]: распоряжение Правительства Рос. Федерации, 22 нояб. 2008 г., № 1734-р // Правительство Российской Федерации. – Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/Z31ADuvq0eoXlknPdhwWRVY22ISdhpas.pdf>. – Дата доступа: 05.09.2022.

# Магнитная система силового стабилизирующего узла общепланетарного транспортного средства

Юницкий А.Э.<sup>1,2</sup>,  
доктор философии транспорта

Лукша В.Л.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО «Астроинженерные технологии»,  
г. Минск, Беларусь

<sup>2</sup> ЗАО «Струнные технологии»,  
г. Минск, Беларусь



Цель исследования – разработка конструкции магнитной системы силового стабилизирующего узла, обеспечивающего ограничение пяти степеней свободы ротора, а также теоретическое изучение его поведения при функционировании. Предложено решение задачи стабилизации центрального положения ротора в канале статора общепланетарного транспортного средства (ОТС) при помощи сил магнитных полей постоянных магнитов. Спроектированная система компенсирует внешние силы, действующие как на ротор при подготовке взлёта, так и на статор при наборе высоты. Смоделирован вариант, когда линейный комбинированный двигатель в составе ОТС выполняет несколько задач: передачу подъёмной силы с маховика на корпус ОТС; удержание маховиков в вакуумных каналах для движения, предотвращая контакт со стенками в статическом и динамическом режимах; разгон маховика, сообщение ему необходимой скорости; преобразование кинетической энергии маховика в электрическую в режиме отбора мощности.

**Ключевые слова:** высокоскоростной линейный двигатель, магнитная левитация, магнитный подвес, общепланетарное транспортное средство (ОТС).



## Введение

Одной из основополагающих составляющих программы безракетного освоения околоземного пространства является геокосмическая транспортная система, позволяющая перемещать к космическому промышленному ожерелью «Орбита» (КИО «Орбита») пассажиров и грузы, а также спускать их на поверхность нашей планеты.

Инженером А.Э. Юницким более 40 лет назад была предложена конструкция геокосмического транспортного средства, способного доставить за один рейс миллионы тонн полезного груза и миллионы людей в ближний космос без применения классических реактивных ракетных двигателей [1, 2]. Функционирование спроектированного изобретателем общепланетарного транспортного средства (ОТС) – самонесущего летательного аппарата, опоясывающего Землю в экваториальной плоскости, массой несколько десятков миллионов тонн – предполагает решение целого ряда сложных инженерных задач. Одна из них – разработка и создание линейного комбинированного электродвигателя длиной 40 000 км, который сможет поднять столь грандиозное сооружение в космос. Никакой другой механизм неприемлем ввиду больших относительных скоростей его подвижных и неподвижных частей.

Силой, которая увлекает ОТС в ближний космос, является центробежная. Она действует на любое тело, движущееся по дуге окружности, и становится тем большей, чем больше масса, выше скорость объекта и меньше радиус окружности, по дуге которой происходит перемещение [3–5].

В конструкции двигателя ОТС присутствует ротор – ленточный маховик, который находится внутри корпуса в вакуумном канале. После получения команды на подготовку к взлёту линейный двигатель начинает разгон ротора. Под действием линейного электродвигателя ротор приходит в движение вокруг Земли по окружности, совпадающей с плоскостью экватора, или параллельно ей. На ротор начинает действовать центробежная сила, направленная в сторону от центра Земли, поднимая маховик вертикально вверх. Таким образом, возникает вопрос о взаимодействии несущегося с огромной скоростью маховика и неподвижно стоящего корпуса ОТС с пассажирами и грузами.

В настоящей работе для решения данной задачи предлагается применение магнитных полей. Описана конструкция магнитной системы силового стабилизирующего узла, обеспечивающей как удержание ротора в вакуумном канале статора, так и передачу центробежной силы от ротора на корпус ОТС. Система автоматически стабилизирует положение корпуса ОТС относительно продольной оси

ротора при возникновении сил любой природы, стремящихся отклонить корпус ОТС в разных направлениях, отличных от данной оси.

## Анализ сил, действующих в системе постоянных магнитов силового стабилизирующего узла

Любая система, обеспечивающая левитацию, должна компенсировать действие гравитации. В мировой практике существует два типа таких систем: электродинамические и электромагнитные.

Для реализации левитации в магнитных полях электромагнитов применяют общеизвестное решение. В качестве взаимодействующих компонентов используется пара «ферромагнетик – электромагнит» [6, 7] либо «проводник – электромагнит» [8–10] с обратной связью по положению подвижной части. В данных системах в том или ином виде присутствует один и тот же набор составных функциональных блоков: электромагнит, силовое устройство его питания, устройство контроля положения левитирующего тела и устройство управления электромагнитом на основании информации, поступающей с датчиков устройства контроля. Принцип действия составных блоков такой системы левитации может быть различным, однако алгоритм работы всегда неизменен. Датчик положения отслеживает расстояние до левитирующего тела. Устройство контроля тока, протекающего через электромагнит, на основании сигнала от датчика изменяет ток электромагнита таким образом, чтобы магнитное поле электромагнита, воздействуя на левитирующее тело, возвращало его на заданное расстояние от датчика. Такая система называется электромагнитной.

На рисунке 1 изображены силы, действующие на левитирующее тело:  $F_1$  – сила, с которой электромагнит действует на тело;  $F_2$  – сила всемирного тяготения со стороны планеты, направленная к её центру, лежащему в плоскости экватора. Когда тело находится на заданном расстоянии от датчика, сила  $F_1$  равна нулю. Под действием силы  $F_2$  тело придёт в движение. Расстояние до датчика уменьшится. Автоматически начнёт возрастать сила  $F_1$ , стремящаяся вернуть расстояние на заданное значение (рисунок 1). Равновесное положение в данном случае нестабильно, поэтому тело будет совершать микроколебания, создавая эффект неподвижной левитации.

Электродинамическая левитация основана на возникновении в проводящих материалах вихревых токов, индуцированных переменным электромагнитным полем либо полем движущегося постоянного магнита (рисунок 2).

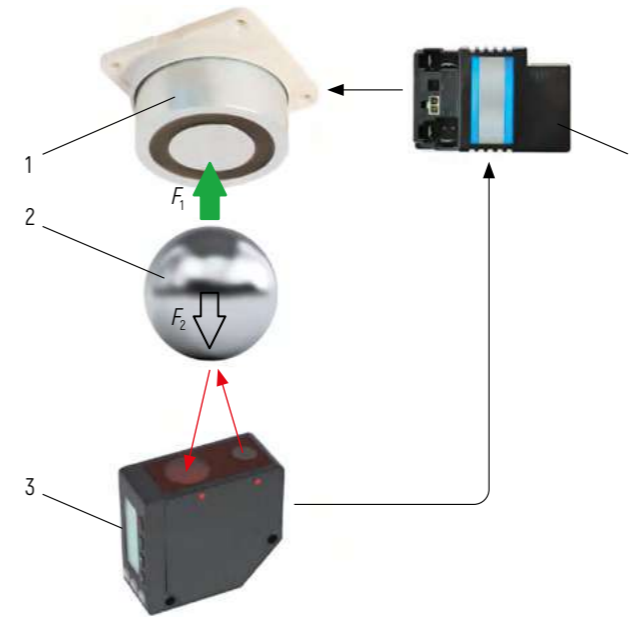


Рисунок 1 – Электромагнитная левитация:  
1 – электромагнит; 2 – левитирующее тело;  
3 – датчик расстояния; 4 – блок управления

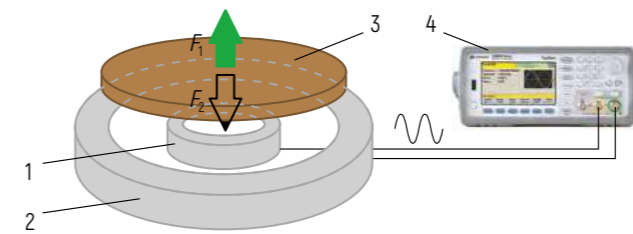


Рисунок 2 – Электродинамическая левитация:  
1 – внутренняя катушка; 2 – внешняя катушка;  
3 – диск из проводящего материала;  
4 – генератор переменного напряжения

Цифрами 1 и 2 (рисунок 2) отмечены две кольцевые катушки, вложенные друг в друга. Сверху размещён диск из проводящего материала. На диск действует сила всемирного тяготения  $F_2$ . При подаче на катушки переменного напряжения в них потечёт переменный ток, который создаст вокруг переменное электромагнитное поле, индуцирующее вихревые токи в лежащем на катушках проводящем диске. Токи создадут вокруг диска переменное электромагнитное поле, которое станет взаимодействовать с полем катушек. Катушки и диск будут отталкиваться. Возникнет сила  $F_1$  (массу диска и параметры катушек выбирают такими, чтобы сила  $F_1$  была больше силы  $F_2$ ). Диск начнёт движение вверх.

По мере удаления диска от катушек сила  $F_1$  будет убывать. На определённом расстоянии диска от катушек силы  $F_1$  и  $F_2$  сравняются, диск займёт своё равновесное положение в пространстве и начнёт левитировать.

Обе рассмотренные системы требуют постоянного силового питания и бесперебойного питания устройств управления, а также датчиков обратной связи. Кроме того, необходимо дублирование узлов из соображений безопасности.

Третьей используемой системой является «магнит – сверхпроводник» [11, 12]. Метод основан на отталкивании диамагнетика (сверхпроводника) и ферромагнетика (постоянного магнита) (рисунок 3).

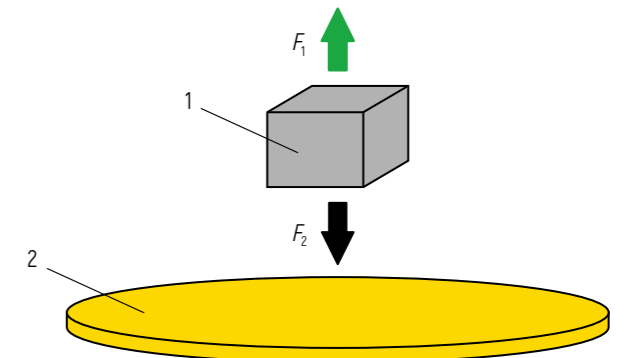


Рисунок 3 – Левитация над сверхпроводником:  
1 – постоянный магнит  $Nd_2Fe_{14}B$ ; 2 – керамический диск  $YBa_2Cu_3O_7$

Если при комнатной температуре положить магнит на керамический диск, то в материале диска возникнет электрический ток, который возбудит магнитное поле. Это поле, взаимодействуя с полем магнита, будет его отталкивать. Поскольку сопротивление материала диска очень велико, то и ток будет ничтожно мал, как и магнитное поле диска. Если же начать охлаждать материал диска, то его удельное сопротивление будет уменьшаться, а ток согласно закону Ома начнёт расти. По достижении критической температуры (для  $YBa_2Cu_3O_7$  – 90 К) материал диска перейдёт в состояние сверхпроводимости. Теперь наведённый вихревой ток будет незатухающим и возбуждённое поле станет вытеснять магнитное поле постоянного магнита из объёма материала диска. Возникнет подъёмная сила  $F_1$ . Когда сила  $F_1$  компенсирует силу гравитации  $F_2$ , магнит начнёт левитировать, что продолжится до тех пор, пока температура диска будет ниже критической. Данная система помимо устройств питания и управления требует наличия двухконтурной гелий-водородной криоустановки,



обеспечивающей рабочую температуру сверхпроводников и нуждающейся в электроэнергии для функционирования.

Для безракетного освоения ближнего космоса необходимо создать систему магнитного подвеса, которой не нужно огромное количество электроэнергии для функционирования. Система должна обладать исключительно высоким КПД и быть относительно экономичной.

Предлагаемая конструкция имеет в своём составе только постоянные магниты и не требует непрерывного силового питания, механизмов контроля и корректировки положения ротора. Рассмотрим работу такой системы.

Если направление дестабилизирующей силы не совпадает с продольной осью движения ротора и перпендикулярной ей плоскостью, эта сила раскладывается на силу, действующую вдоль оси движения ротора (например, силу тяги (торможения) линейного электродвигателя, ускоряющую (или замедляющую) ротор), и силу, перпендикулярную оси движения ротора, которая уравнивается силами системы постоянных магнитов (рисунок 4).

На этапах разгона ротора, отрыва ОТС от взлётно-посадочной эстакады и набора высоты 100 км возможно возникновение дестабилизирующих сил, направленных в любом направлении. На рисунке 4 чёрным цветом изображена дестабилизирующая сила  $F$  (выбрана случайно), направленная в объём первого октанта. Рассмотрим её разложение на три составляющие. Силы  $F_y$  и  $F_z$  будут компенсированы магнитным полем магнитной системы статора, а  $F_x$  будет стремиться переместить ротор в полезном направлении.

Главное достоинство решения – полная автономность, отсутствие потребности в питании, системах управления в статическом и динамическом режимах работы. Недостатком является необходимость охлаждения магнитной системы в динамическом режиме [4].

Изучение литературных источников показывает, что многие исследователи магнитной левитации говорят о невозможности создания системы постоянных магнитов,

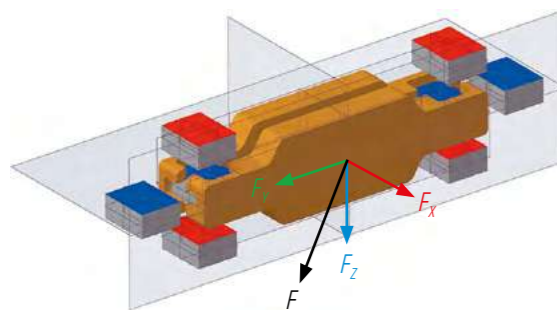


Рисунок 4 – Разложение дестабилизирующей силы

обеспечивающей левитацию твёрдого тела без воздействия на него сил, отличных от магнитных, так как нарушается теорема Ирншоу [13] (сформулирована английским физиком в 1842 г.). В технике с данной теоремой связаны определённые ограничения на решение инженерной задачи разработки устойчивого подвеса тела с помощью полей постоянных магнитов, т. е. без непосредственного соприкосновения с твёрдыми удерживающими конструкциями. Однако предложенная система не нарушает теорему Ирншоу. Жёстко связанные между собой сегменты ротора, как соседние, так и удалённые, оказывают то самое внешнее воздействие друг на друга, делая возможной левитацию.

### Магнитная система силового стабилизирующего узла

На рисунке 5 схематично представлена конструкция магнитной системы, состоящей из одинаковых кластеров.

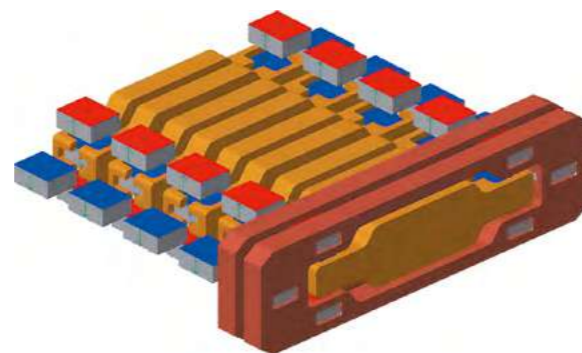


Рисунок 5 – Конструкция магнитной системы

Кластеры собираются отдельно и монтируются между собой, образуя магнитную систему. Каждый кластер (рисунок 6) состоит из двух блоков (статор и ротор), удерживающих постоянные магниты в определённом положении. Статор жёстко соединён с корпусом ОТС, а ротор левитирует в магнитном поле.

Силы магнитного взаимодействия блокируют степени свободы линейного перемещения ротора вдоль осей  $X$  и  $Z$ , а также степень свободы вращения вокруг оси  $Y$ . Механическое взаимодействие магнитных кластеров между собой в совокупности со взаимодействием магнитных полей ограничивают степень свободы вращения вокруг осей  $X$  и  $Z$ . Остаётся неблокированной степень свободы линейного перемещения вдоль оси  $Y$  (рисунок 7).

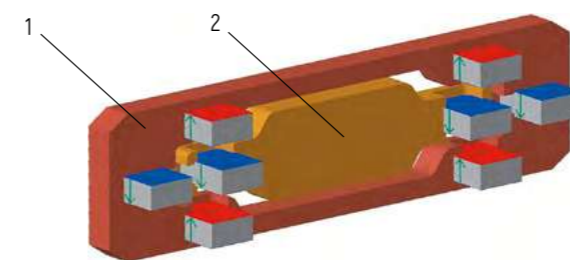


Рисунок 6 – Магнитный кластер: 1 – статор; 2 – ротор

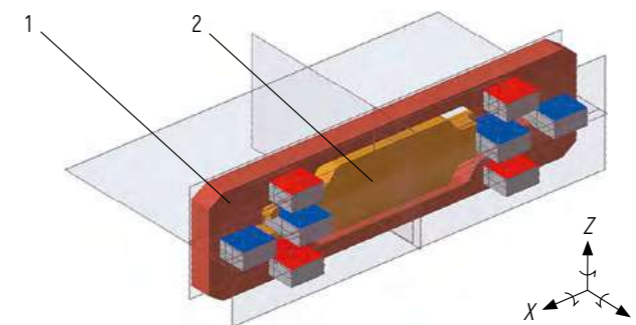


Рисунок 7 – Степени свободы ротора: 1 – статор; 2 – ротор

### Моделирование

С целью получения информации об устойчивости разрабатываемой системы выполним математическое моделирование силового взаимодействия групп магнитов статора и ротора по принципу суперпозиции. Система размещена в условиях гравитации на уровне моря в статическом положении.

Сила, действующая в направлении движения ротора (вдоль оси  $Y$ ), представленная на рисунках 7 и 8, равна нулю, так как это результирующая сила, действующая на магниты ротора (на рисунке 8 – зелёного цвета) со стороны магнитов статора. Силовые линии магнитов ротора замыкаются на магниты статора (рисунок 9).

Сила, действующая в направлении, перпендикулярном движению ротора и силе гравитации, – курсовая стабилизирующая сила – также равна нулю, поскольку по условиям моделирования нет сил, стремящихся сместить ротор в направлении оси  $X$  (рисунки 7, 10).

Магниты  $A_1, A_2, A_3$  (рисунок 11) выталкивают магнит  $B$  в направлении магнита  $C_2$  с силой  $F_1$ . В свою очередь магниты  $C_1, C_2, C_3$  выталкивают магнит  $D$  в направлении магнита  $A_2$  с силой  $F_2$ . Если ротор находится на равных расстояниях от магнитов  $A_2$  и  $C_2$ , то силы  $F_1$  и  $F_2$  равны по модулю и противоположны по направлению, а их сумма равна нулю.

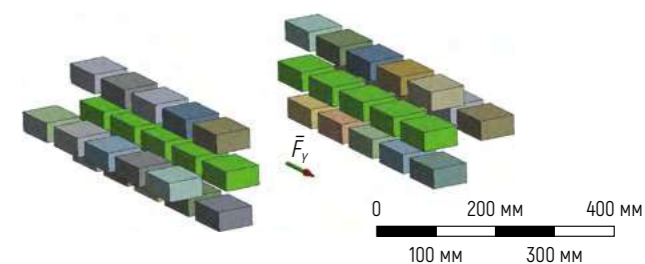


Рисунок 8 – Сила, действующая в направлении оси  $Y$

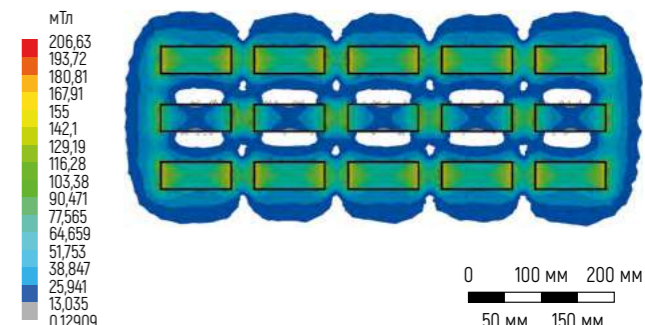


Рисунок 9 – Линии магнитной индукции системы (вид в направлении оси  $X$  на основании рисунка 7)

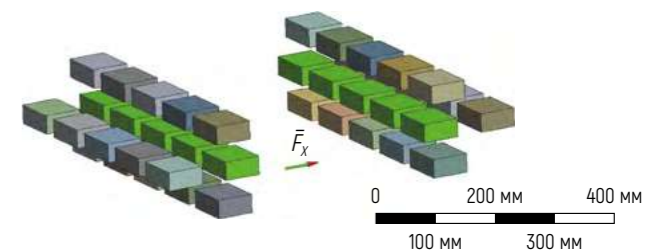


Рисунок 10 – Сила, действующая в направлении оси  $X$

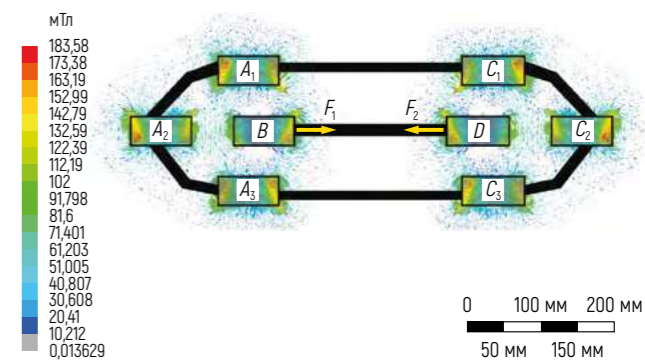


Рисунок 11 – Силы, действующие в направлении оси  $X$  со стороны статора

Сила, направленная по оси Z (рисунок 7), – подъёмная сила, равная 2475 Н/м, так как по условиям моделирования на ротор действует сила гравитации, стремящаяся сместить ротор в направлении оси Z, т. е. к центру Земли (рисунки 7, 12).

Сила всемирного тяготения, действуя на ротор, стремится уменьшить расстояние между рядами магнитов 2 и 3 (рисунок 13), а также увеличить расстояние между рядами 1 и 2.

При нарушении равенства расстояний от ряда 2 (ряд ротора) до рядов 1 и 3 (ряды статора) возникает разница сил взаимодействия между рядами, стремящаяся свести к нулю разницу расстояний.

Анализируя рисунки 14 и 15, можно заметить реакцию магнитного поля на дестабилизирующую силу, приложенную к ротору. Плотность магнитного поля перераспределилась таким образом, чтобы результирующая сила всех полей отдельных магнитов компенсировала внешнее возмущение.

Удельная грузоподъёмность магнитного узла – 18 825 Н/м, или 1920 кгс/м. За вычетом массы корпуса и оборудования, а также с учётом криволинейности взлётно-посадочной эстакады фактическая грузоподъёмность ОТС составит 350 кг/м.

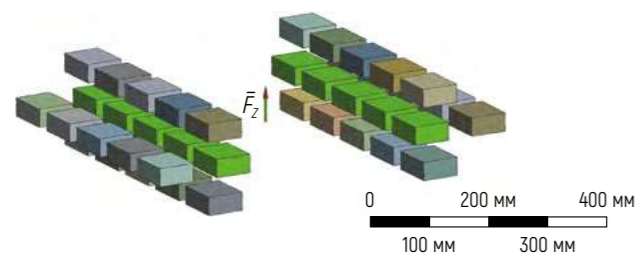


Рисунок 12 – Сила, действующая в направлении оси Z со стороны статора

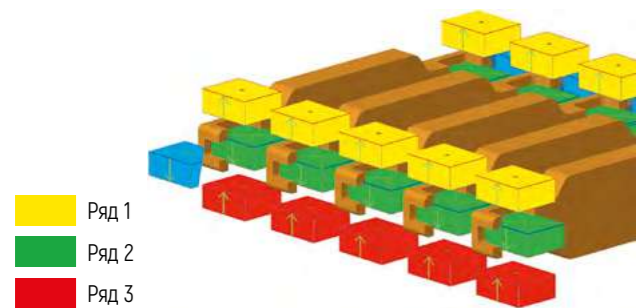


Рисунок 13 – Ряды магнитов ротора (ряд 2) и статора (ряды 1 и 3)

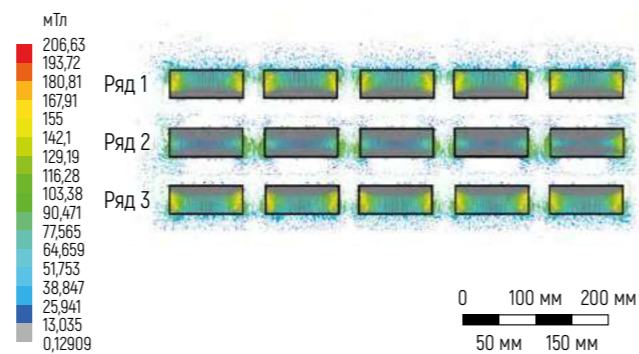


Рисунок 14 – Распределение плотности магнитного поля системы в условиях микрогравитации (вид в направлении оси X на основании рисунка 7)

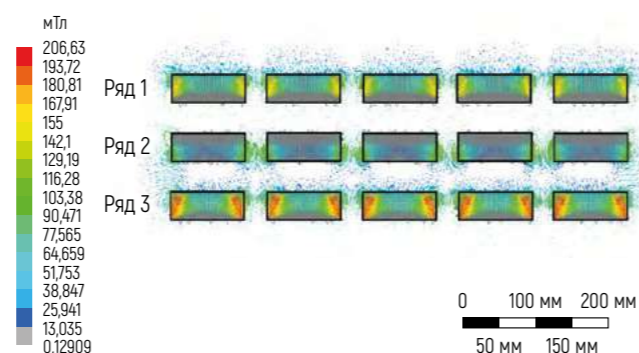


Рисунок 15 – Изменение распределения плотности магнитного поля системы при действии на ротор силы гравитации Земли у её поверхности (вид в направлении оси X на основании рисунка 7)

## Выводы и дальнейшие направления исследования

В результате проведённых исследований и расчётов найдена конфигурация магнитной системы, обеспечивающая стабилизацию ротора относительно корпуса ОТС на этапе подготовки взлёта, а также стабилизацию в плоскости горизонта корпуса ОТС относительно ротора на этапах взлёта и посадки.

Форма взлётно-посадочной эстакады в плоскости экватора будет отличаться от идеальной окружности в силу рельефа поверхности Земли (рисунок 16). Магнитная система стабилизирует положение ротора относительно корпуса ОТС в вертикальной плоскости на этапе подготовки к взлёту.

На этапах взлёта и посадки ОТС магнитная система стабилизирует в вертикальной плоскости положение корпуса ОТС относительно ротора, а также устранит вращение

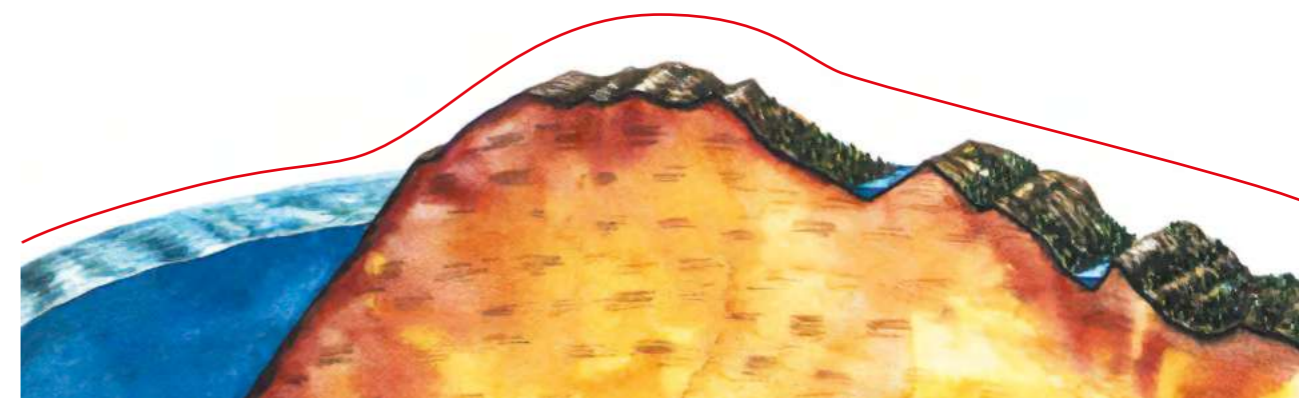


Рисунок 16 – Схема расположения эстакады ОТС в плоскости экватора

ротора внутри канала и исключит возможность контакта ротора со стенками вакуумных каналов на всех фазах эксплуатационного цикла. Вместе с тем описанная система не препятствует движению ротора вдоль каналов.

Дальнейший этап исследований и моделирования – создание конструктива ротора и статора на основании предложенной в настоящей работе концепции взаимодействия магнитов. Кроме того, актуальной задачей необходимо считать решение проблемы экранирования полей постоянных магнитов, влияющих на перераспределение силовых линий магнитов ОТС.

## Литература

1. Юницкий, А. Пересадочная, космическая, кольцевая / А. Юницкий // Изобретатель и рационализатор. – 1982. – № 4. – С. 28–29.
2. Юницкий, А. В космос... на колесе / А. Юницкий // Техника – молодёжи. – 1982. – № 6. – С. 34–36.
3. Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьяна Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019 – 240 с.
4. Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьяна Горка, 12 сент. 2020 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтроймедиаПроект, 2021. – 516 с.
5. Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Гомель: Инфотрибо, 1995. – 337 с.: ил.
6. Линейный двигатель: пат. RU 2370874 / Г.В. Никитенко, В.А. Гринченко. – Опубл. 20.10.2009.
7. Сарапулов, Ф.Н. Исследование тягового линейного асинхронного двигателя конвейерного поезда / Ф.Н. Сарапулов, И.А. Смольянов, И.Е. Родионов // Электротехника. – 2018. – Т. 5, № 1. – С. 34–37.
8. Абдуллаев, М. Применение линейных двигателей в электроприводах / М. Абдуллаев, М. Маткасимов, Д. Каримжонов // Universum: технические науки. – 2020. – № 11 (80). – С. 12–14.
9. Синюк, К.В. Применение нечёткой логики для систем управления линейным синхронным двигателем с постоянными магнитами / К.В. Синюк, В.А. Анчутин // Символ науки. – 2018. – № 3. – С. 21–24.
10. Ахатов, С.Т. Исследование системы синхронной тяги с линейными двигателями / С.Т. Ахатов, В.Г. Солоненко, Н.М. Махметова // Вестник КазАТК. – 2021. – Т. 116, № 1. – С. 89–95.
11. Ким, К.К. Системы электродвижения с использованием магнитного подвеса и сверхпроводимости: монография / К.К. Ким. – Саратов: IPR Media, 2019. – 351 с.
12. Пенкин, В.Т. Синхронные электрические машины с композитными и объёмными сверхпроводниками в роторе для транспортных систем / В.Т. Пенкин, К.Л. Ковалёв. – М.: МАИ, 2018. – 216 с.
13. Мартыненко, Ю.Г. О проблемах левитации тел в силовых полях / Ю.Г. Мартыненко // Соросовский образовательный журнал. – 1996. – № 3. – С. 82–86.

# Обоснование возможности использования водорода в качестве хладагента в гиперскоростных транспортных средствах

Юницкий А.Э.<sup>1,2</sup>,  
доктор философии транспорта

Гаранин В.Н.<sup>2,3</sup>,  
кандидат технических наук

Янчук В.В.<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup> ООО «Астроинженерные технологии»,  
г. Минск, Беларусь

<sup>2</sup> ЗАО «Струнные технологии»,  
г. Минск, Беларусь

<sup>3</sup> Белорусский государственный технологический университет,  
г. Минск, Беларусь

<sup>4</sup> Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Беларусь



Уделено внимание способу аккумулирования тепла при работе гиперскоростных транспортных средств (ГТС) в разреженной среде и вакууме. Представлено обоснование создания установки активной тепловой защиты (утилизатор тепла) и выбора хладагента по критерию массы и его удельной стоимости. Приведена методика расчёта стоимости задействования различных видов хладагентов в зависимости от режимов функционирования ГТС. Проанализировано использование водорода в качестве хладагента. Обозначено направление совершенствования конструктивного исполнения водородного утилизатора тепла и возможности его применения на ГТС.

**Ключевые слова:** вакуум, водород, гиперскоростное транспортное средство (ГТС), масса, оценочная единица, транспорт, утилизатор тепла, хладагент.



## Введение

С развитием технологий все процессы в современном мире становятся более стремительными. Не является исключением и перемещение людей и грузов. Мировые транспортные компании регулярно предлагают новые разработки с улучшенными характеристиками, которые решают проблему скорости и экономичности передвижения [1, 2], а следовательно, повышают уровень и качество жизни, способствуют экономическому развитию. В настоящее время вопрос увеличения скорости транспортных средств (ТС) рассматривается как в рамках городских транспортных систем [3], так и в междугородных и межрегиональных железнодорожных и автомобильных сообщениях [1, 4, 5].

Одно из решений для повышения скорости наземного транспорта – создание гиперскоростных транспортных комплексов, предусматривающих движение ТС в разреженной среде в герметичных тоннелях. Такой подход позволяет снизить сопротивление среды движению и сократить используемые мощности двигателей, а также затраты энергии на движение в целом.

Классические системы охлаждения ТС основаны на переносе тепловой энергии от источника тепла (двигатель, электрооборудование, человек и др.) к радиатору для её рассеивания за счёт обдува набегающим потоком воздуха. В условиях отсутствия достаточного количества набегающего воздуха (например, при движении ТС в газовой среде с высоким разрежением) процесс передачи тепла конвективным способом во внешнюю среду представляется затруднительным. При движении ТС в полном вакууме (в частности, в космосе) данный процесс становится невозможным. Сложная зависимость количества отведённой энергии от параметров окружающей среды и скорости движения ТС не позволяет с высокой степенью точности оценить работоспособность конвективной системы охлаждения машин, эксплуатируемых на разных скоростях на Земле и в космосе. В таких непростых условиях на скоростях выше 1000 км/ч функционирует и гиперскоростное транспортное средство (ГТС). Следовательно, использование конвективных систем охлаждения неэффективно; здесь необходимо рассматривать другие способы отвода тепла (например, за счёт его излучения или автономного преобразования в другой вид энергии). В качестве варианта охлаждения ТС в разреженной среде предлагается устройство бортовых тепловых преобразователей и возможность их перезарядки на конечных станциях.

## Обоснование использования водорода в качестве хладагента

При движении любого ТС выделяется тепло; его количество зависит от коэффициента полезного действия (КПД) используемых систем, а также от сил сопротивления, которые необходимо преодолевать. Повышение КПД и снижение сил сопротивления движению – одно из направлений решения проблемы тепла при функционировании ТС.

В процессе работы наземного ТС значительная доля мощности двигателя расходуется на преодоление аэродинамического сопротивления воздушной среды и сопротивления качению колёс. Уменьшение данных параметров повысит экономичность движения ТС. В ряде случаев для снижения сопротивления движению применяется магнитная левитация [6, 7]. Такой метод позволяет приподнять ТС над дорожным полотном за счёт действия электромагнитного поля. Дополнительным положительным эффектом указанной технологии является низкий уровень шума при движении. Отрицательная сторона – высокие капитальные и эксплуатационные затраты [8, 9], а также недостаточно высокий КПД электромагнитных левитирующих систем (ниже, чем у стального колеса).

Второй способ сокращения затрат энергии и средств на движение – уменьшение лобового сопротивления путём снижения давления среды. Суть концепции: ТС помещается в трубу, из которой откачивается воздух до желаемого значения разрежения. Описанный подход часто сочетают с магнитной левитацией [10]. Кроме того, существуют и другие теории о способе привода в движение транспорта в разреженной среде, например подача воздуха, который собирается перед лобовой частью ТС и после сжатия в компрессоре подаётся под нижнюю часть кузова ТС для его центрирования и исключения касания стенок тоннеля [11].

Изучая данное направление, следует обратить внимание на опыт разработки ГТС, представленного в изобретении [12], где решены указанные проблемы. Под ГТС понимается пассажирское или грузовое колёсное ТС, движущееся по путевой структуре, которая расположена в тоннеле, выполненном в виде герметичной трубы и заполненном водородом под пониженным давлением.

При проектировании ГТС встаёт значительное число вопросов, ранее не рассмотренных в контексте транспортных комплексов. В частности, при движении ТС в разреженной среде неизбежно возникают затруднения с отводом теплоты от двигателя, источника энергии, системы вентиляции

и кондиционирования салона (тепловыделение пассажиров и бортовых систем).

Самый простой и распространённый способ охлаждения технических устройств – самовентилиация. То есть охлаждение происходит за счёт набегающего воздушного потока, интенсивность которого практически не регулируется. Увеличить её можно в результате применения принудительного воздушного охлаждения – путём установки дополнительного вентилятора [13].

В условиях разреженной среды такой способ неэффективен, так как её плотность снижается пропорционально давлению, соответственно, уменьшается количество воспринимаемой теплоты при тех же параметрах. Хотя тоннель заполнен водородом [12], который имеет значение коэффициента теплопроводности значительно выше, чем воздух, возникает необходимость охлаждения самого тоннеля для предотвращения перегрева среды.

Для уменьшения габаритов системы охлаждения при той же тепловой мощности возможно использование жидкостного охлаждения – традиционной радиаторной системы, теплоту от которой следует также отводить в окружающую среду [14], что при данных условиях неприменимо. Дополнительные требования к системе отвода теплоты для ТС, движущегося в вакууме: минимально возможные масса и объём системы, что влияет на массу и объём самого ТС.

Так как в разреженной среде нет возможности отводить теплоту в окружающее пространство, предлагается организовать на борту аккумулятор холода с ёмкостью, достаточной для поглощения теплоты, которая выделяется за одну поездку между конечными станциями. Согласно законам термодинамики вещество способно поглощать максимальное количество теплоты в процессе фазового перехода (испарение и плавление). На данное утверждение стоит обратить внимание при разработке систем испарительного или плавительного охлаждения, показывающих наибольшую эффективность при максимальной компактности [15].

Следует также учитывать, что в некоторых системах предварительная подготовка топливной смеси (для улучшения КПД двигателей) связана с аккумулярованием лишней энергии тепла, т. е. полезная энергия берётся из тепла, которое необходимо отводить. Так, существуют грузовые автомобили, использующие в качестве источника энергии сжиженный азот или сжиженный воздух. Указанные вещества, предварительно испаряясь, поглощают определённое количество теплоты, а затем

направляются в поршневой двигатель и обеспечивают движение ТС с улучшенным КПД. Значит, одно и то же вещество применяется не только для приведения ТС в движение, но и для охлаждения двигателя, бортовых систем и рефрижераторного отсека (для специализированных автомобилей) [16, 17].

Кроме того, данный подход описан в концепции охлаждения капсулы, движущейся в тоннеле на магнитной левитации (проект Hyperloop Alpha [18–20]), где используется охлаждённый до  $-269$  °С гелий (перевозится на борту в жидком состоянии). По концепции Hyperloop подаваемый под капсулу воздух после сжатия в компрессоре охлаждается водой в фазовом переходе. Полученный водяной пар сохраняется на борту ТС до конца поездки, затем ТС перезаправляется.

Для решения определённых задач получили распространение твёрдые аккумуляторы фазового перехода, а именно льдоаккумуляторы, которые широко применяются в пищевой промышленности, наиболее часто – в молочной [21]. В таких аккумуляторах возможно задействие не только льда, но и других хладагентов: фреонов, водных растворов гликолей, водных растворов солей.

Следует обратить внимание на создание системы охлаждения в летательных аппаратах [22]. В частности, предлагается принудительное охлаждение, так называемые системы активной теплозащиты (САТ). В [22] водород используется сначала в качестве хладагента (водород непосредственно нагревается в рубашке охлаждения или отдельно охлаждает жидкометаллический теплоноситель), а затем в нагретом виде направляется для совершения полезной работы в электротурбогенераторе и ракетном двигателе. Однако в указанном исследовании не обращается внимание на состояние водорода до нагрева. С точки зрения эффективности применения хладагента по массе водород лучше задействовать для нагрева в жидком состоянии. Решение проблем безопасности – второй этап развития данного направления, что может послужить темой следующей работы.

Исходя из вышесказанного, важно рассматривать систему охлаждения ТС не в качестве простого средства аккумулярования холода, а как более сложный процесс утилизации тепла, предполагающий не только аккумулярование тепла, но и его преобразование и дополнительное использование для ГТС.

Источником энергии для движения ГТС по тоннелю может выступать накопитель электрической энергии (аккумуляторы электроэнергии), контактная сеть или водородный

топливный элемент (ТЭ), вырабатывающий необходимую энергию непосредственно на борту ТС [12] (рисунок 1).

При движении в вакууме невозможно осуществить отвод тепла во внешнюю среду, соответственно, на борту ТС нужно иметь накопитель энергии, способный поглотить всю выделяемую в процессе поездки теплоту. В данной работе в качестве хладагентов рассмотрены лёд, сжиженный водород, сжиженный кислород, а также система «сжиженный водород – сжиженный кислород» в соотношении расходов, которые обеспечивают непрерывное функционирование водородного ТЭ, вырабатывающего воду в качестве вторичного продукта. Лёд выбран как достаточно широко и давно используемый в подобных целях хладагент. Водород после испарения и нагрева до рабочей температуры можно сбрасывать в тоннель, где предполагается водородная среда с пониженным давлением; избыток водорода будет непрерывно откачиваться насосами, предназначенными для поддержания требуемого давления. В системе «водород – кислород» два хладагента после испарения и нагрева до рабочей температуры применяются в водородном ТЭ, дополнительным веществом в процессе функционирования которого является вода.

Количество поглощаемой теплоты водородом и кислородом рассматривалось при их нагреве до конечной температуры 37 °С, что позволяет задействовать их в дальнейшем на питание ТЭ. Конечная температура нагрева расплавленного льда составляет 55 °С, так как вода используется только для поглощения теплоты и на борту ТС имеются источники тепловой энергии с температурой около 77 °С. Начальные значения параметров для каждого вещества различные, что определяет также сложность и энергозатраты при получении требуемых показателей хладагента перед загрузкой данного аккумулятора в ТС. Для водорода точка отсчёта – состояние насыщенной жидкости с температурой порядка -253 °С; для кислорода – состояние насыщенной жидкости при температуре -183 °С; для льда – два варианта: нетающий

лёд при температуре 0 °С (лёд 0 °С) и переохлаждённый лёд при температуре -100 °С (лёд -100 °С).

Теплота, поглощаемая аккумулятором холода, воспринимается хладагентами в ходе многих процессов, которые стоит также отделять физически – установкой нескольких теплообменных аппаратов. Соответственно, температура рабочего тела системы охлаждения в них будет отличаться, что позволит получать холод различного температурного уровня для любых систем.

При задействовании льда 0 °С теплота расходуется сначала на перевод всей массы в жидкое состояние, затем на нагрев. Аккумулятор с переохлаждённым льдом будет дополнительно включать стадию нагрева льда от -100 °С до температуры плавления. В случае использования сжиженного водорода теплота станет поглощаться при его испарении, а затем при нагреве газообразного водорода до рабочей температуры. Аналогична ситуация и с сжиженным кислородом – потребуется два теплообменника. Наиболее сложной и массивной является система «сжиженный водород – сжиженный кислород», в которой необходимо два отдельных комплекта оборудования для параллельной работы водорода и кислорода, так как в дальнейшем предполагается их применение в ТЭ (рисунок 2).

В настоящей работе для сравнения теплоносителей выбран метод теоретического анализа эффективности использования определённых хладагентов – расчёт количества поглощённой теплоты и обработка полученных данных. Вычисления производились с учётом зависимости теплофизических свойств веществ от температуры на основании [23].

На рисунке 3 представлена зависимость поглощённой каждым хладагентом теплоты от температуры. Количество поглощённой теплоты приведено на 1 кг вещества; в случае системы «сжиженный водород – сжиженный кислород» – на 1 кг получаемой в результате реакции в ТЭ воды.

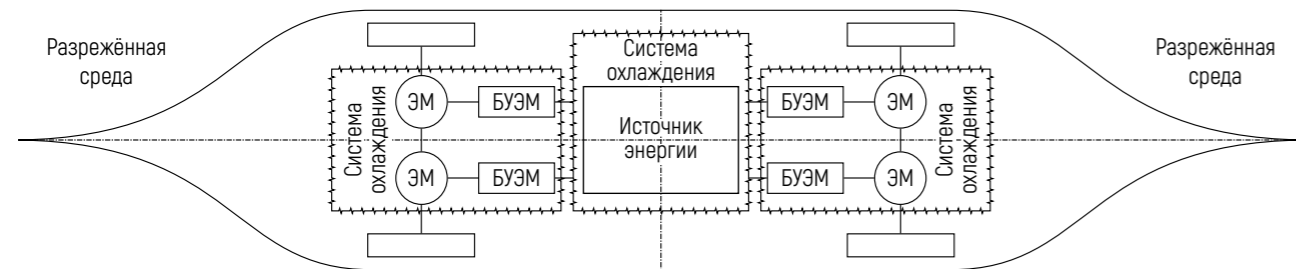


Рисунок 1 – Схема силовой установки ГТС:  
ЭМ – электромотор; БУЭМ – блок управления электромоторами

Для заданных конечных температур 1 кг водорода способен поглотить наибольшее количество теплоты – 4150 кДж, чистый кислород (для сравнения) – 415 кДж, система «водород – кислород» – 830 кДж, лёд -100 °С и лёд 0 °С поглотят 709 кДж и 570 кДж соответственно (разница количества энергии обусловлена нагреванием льда от -100 °С до 0 °С) (рисунок 3). То есть одним из наиболее эффективных хладагентов (при их одинаковой массе) является сжиженный водород, который поглощает в пять раз больше теплоты, чем вторая по эффективности система на основе водорода и кислорода. Наименьшее количество теплоты из предложенных вариантов способен поглотить кислород при его испарении и нагревании до 36,85 °С.

Генераторы тепловыделений в ГТС – силовая установка, состоящая из источника энергии и электродвигателя, а также система кондиционирования, мощность которой определяется тепловыделениями пассажиров и бортовой электроники. В качестве источника энергии может использоваться как электрический аккумулятор, так и водородный ТЭ (в соответствии с патентом [12]).

Рассмотрим для примера ГТС, время движения которого между конечными пунктами составляет 0,5 ч. ТС рассчитано на шесть пассажиров, механическая мощность двигателя равна 100 кВт, механический КПД двигателя – 90 %. Электрическая энергия подаётся на двигатель от ТЭ, который имеет электрический КПД 40 %. Мощность тепловыделения

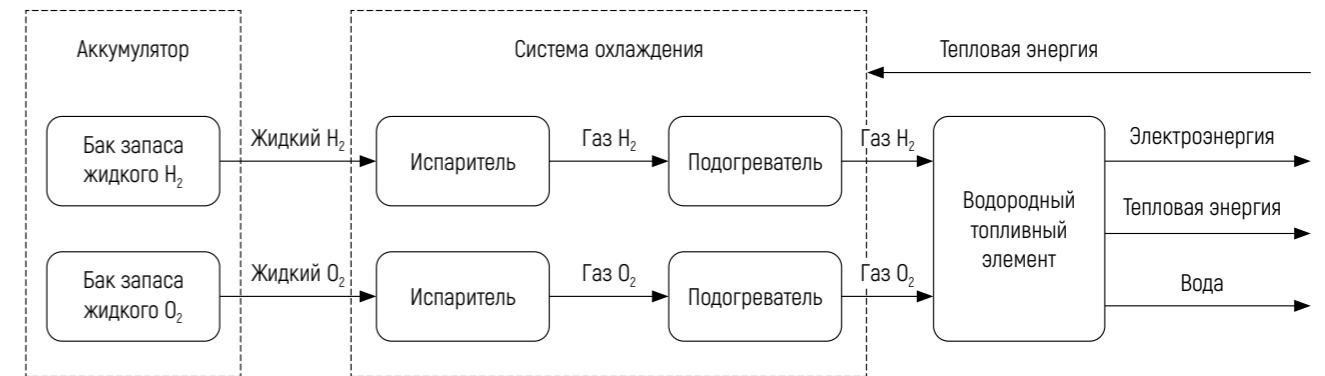


Рисунок 2 – Схема использования водорода и кислорода в качестве хладагента и источников энергии на борту ГТС

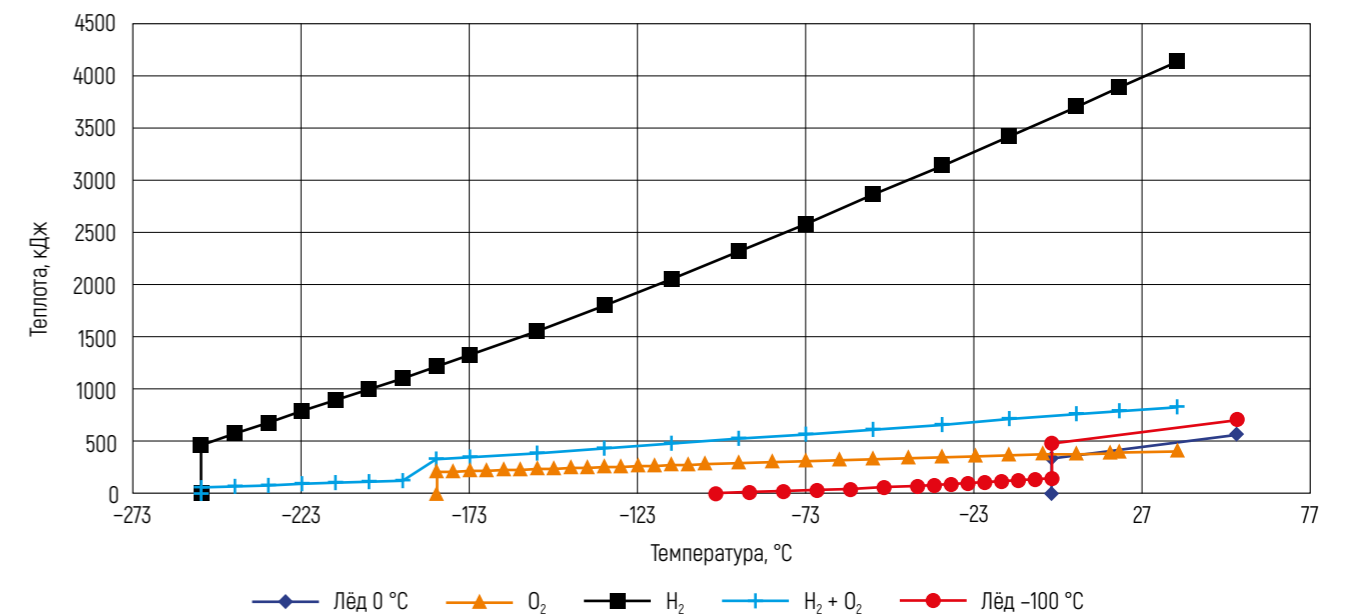


Рисунок 3 – Зависимость поглощаемой хладагентом теплоты от температуры

одним пассажиром в покое – 0,1 кВт. Мощность тепловыделений бортовой электроники – 1% от электрической мощности ТЭ. Схема тепловых потоков ГТС и их расчётные мощности представлены на рисунке 4.

Для рассматриваемого примера мощность теплового потока составляет 179,5 кВт; количество энергии, которую необходимо аккумулировать за время движения ТС:  $179,5 \times 1,15 \times 0,5 = 103,2$  кВт·ч, или 371,52 МДж (1,15 – коэффициент, учитывающий запас мощности).

Далее выполним сравнение приведённых хладагентов по критериям массы вещества, а также по стоимости заправки на одну поездку. Масса системы является важным фактором, так как при значительном увеличении массы ТС возрастает мощность двигателя, а соответственно, и тепловыделение.

Система утилизации тепла должна обеспечивать полное поглощение теплоты, выделяемой другими системами. Уравнение теплового баланса можно представить в виде:

$$1,15 Q_{\text{отв}} = Q_{\text{ха}}, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{отв}}$  – теплота, которую необходимо отводить от силовой установки и системы кондиционирования, кДж;

$Q_{\text{ха}}$  – расчётная теплота для утилизации хладагентом, кДж.

Количество хладагента рассчитывается в зависимости от процесса, в котором последний поглощает теплоту: нагревание или фазовый переход.

При нагревании расход хладагента  $G$  (кг/с) обусловлен разностью температур в начале и конце процесса  $\Delta t$  и теплоёмкостью вещества при заданных температурах  $c_p$ :

$$G = \frac{Q_{\text{ха}}}{c_p \Delta t}. \quad (2)$$

Если вещество в процессе поглощения теплоты переходит из одного агрегатного состояния в другое, то его количество будет зависеть от теплоты фазового перехода  $r$ , которая является индивидуальной характеристикой вещества и определяется давлением:

$$G = \frac{Q_{\text{ха}}}{r}. \quad (3)$$

Для варианта с переохлаждённым льдом, когда вначале происходит его нагревание с изменением температуры на  $\Delta t^a$ , затем плавление и нагревание воды с перепадом температуры  $\Delta t^b$ , формула будет выглядеть следующим образом:

$$G = \frac{Q_{\text{ха}}}{c_p^a \Delta t^a + r + c_p^b \Delta t^b}, \quad (4)$$

где  $c_p^a$  – массовая изобарная теплоёмкость льда, кДж/(кг·°С);

$c_p^b$  – массовая изобарная теплоёмкость воды, кДж/(кг·°С). Из формул видно, что для повышения эффективности системы охлаждения необходимо выбирать хладагент с наибольшей теплоёмкостью.

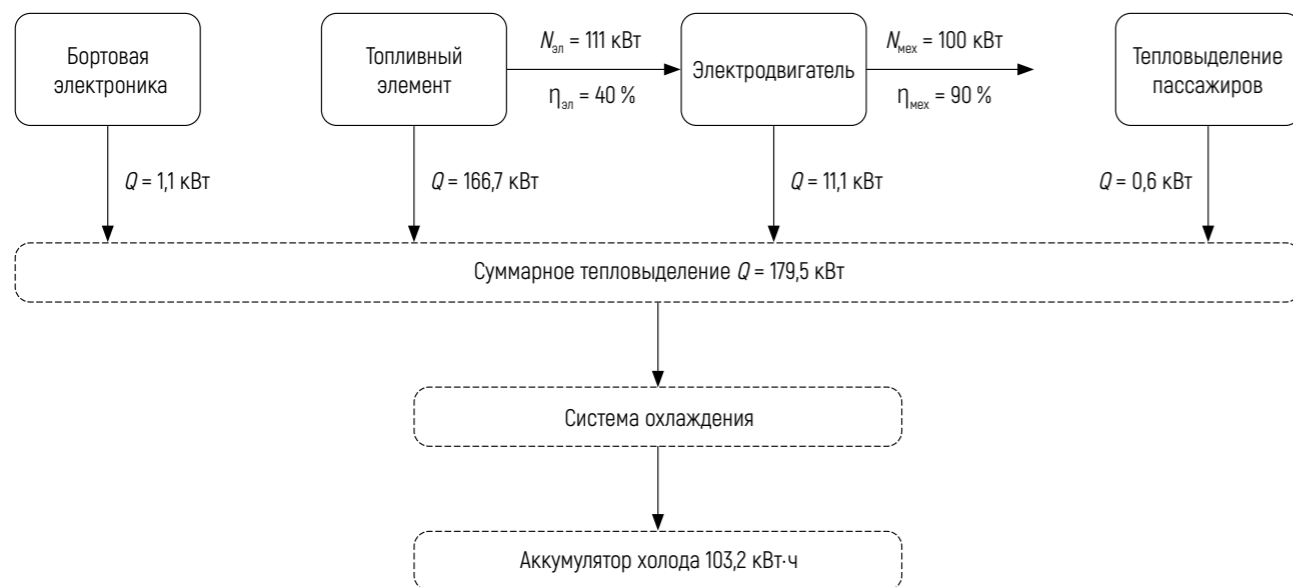


Рисунок 4 – Потоки избыточной тепловой энергии ГТС и их расчётная мощность

Удельная стоимость получения 1 кг хладагента [23–25] приведена в таблице и представлена в оценочной единице (о. е.), которую на первом этапе можно приравнять к одному евро.

Стоимость хладагента на одну поездку  $\zeta$  (о. е.) для аккумулирования выделяемой энергии будет определяться по следующей зависимости:

$$\zeta = G T C, \quad (5)$$

где  $T$  – время поездки, с;

$C$  – удельная стоимость хладагента при требуемых параметрах, о. е./кг.

На рисунке 5 показаны результаты расчётов по зависимости (5) количества хладагента для заправки аккумулятора на одну получасовую поездку и стоимости получения данного количества хладагента при рассматриваемых параметрах.

Наименьшая масса хладагента потребуется при использовании сжиженного водорода, для заданных условий – 90 кг (рисунок 5). В случае применения сжиженного кислорода максимально необходимая масса хладагента в 10 раз больше. По критерию стоимости самый выгодный вариант – лёд 0 °С: 87 о. е. на одну поездку. За ним по увеличению стоимости следует лёд –100 °С – 99 о. е. Наибольшие издержки будут в варианте с сжиженным водородом – 483 о. е.

Для описанных выше параметров ТС количество электрической энергии, затраченной на поездку, составит 55,6 кВт·ч, а количество теплоты, которое нужно аккумулировать (с учётом коэффициента запаса ёмкости), – 103,2 кВт·ч. На рисунке 6 приведена удельная стоимость хладагентов на 1 кВт·ч электрической энергии, затраченной на одну поездку, при использовании водородных ТЭ в качестве источника электрической энергии.

Как показано на рисунке 6, с точки зрения себестоимости наиболее выгодно в качестве хладагента использовать лёд 0 °С, наименее рентабельно применение сжиженного водорода (при соответствующих удельных стоимостях 1,6 и 8,7 о. е./кВт·ч). Однако, если рассматривать системы, где масса хладагента является важным параметром (космические ракеты, ГТС и др.), задействование водорода считается уже самым эффективным способом охлаждения. Тем более стоимость хладагента зависит от многих факторов и может со временем меняться, чего нельзя сказать о его массе.

С целью реализации модели использования жидкого водорода для утилизации теплоты предлагается выбрать схему, представленную на рисунке 7.

Таблица – Удельная стоимость получения хладагентов

Хладагент	Удельная стоимость $C$ , о. е./кг	Примечание
Лёд 0 °С, $C_1$	0,13	
Сжиженный кислород, $C_2$	0,5	
Сжиженный водород, $C_3$	5,4	
Водород + кислород, $C_4$	1	$C_4 = 0,11C_3 + 0,89C_2$
Лёд –100 °С, $C_5$	0,19	

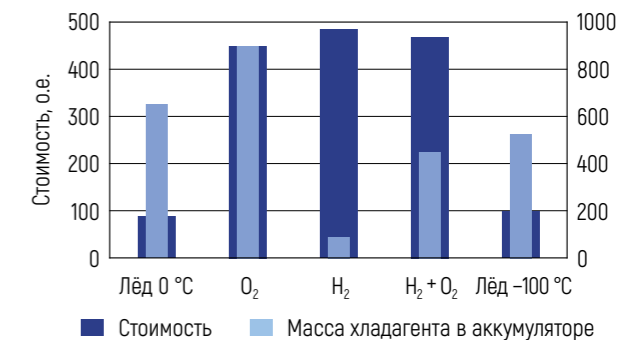


Рисунок 5 – Массовые и стоимостные характеристики хладагентов в аккумуляторе на одну поездку ГТС

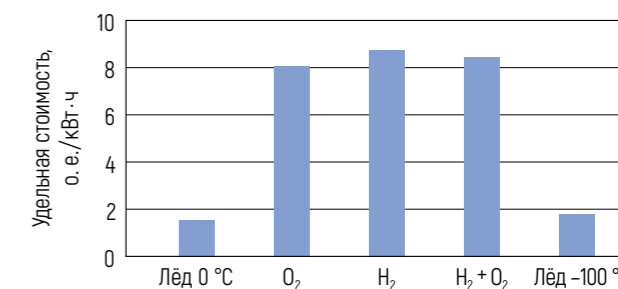


Рисунок 6 – Удельная стоимость хладагентов на 1 кВт·ч электрической энергии, затраченной на одну поездку ГТС

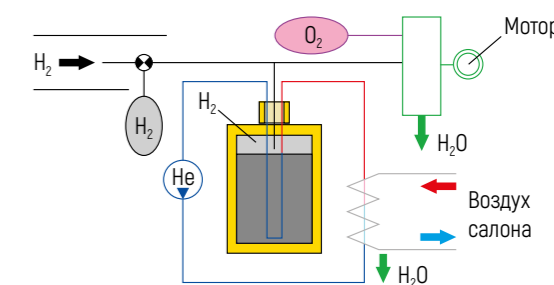


Рисунок 7 – Рабочая схема водородного преобразователя тепла

Процесс кипения водорода происходит непосредственно в сосудах Дьюара, которые нужны для транспортировки жидкого водорода. Такое решение позволит повысить безопасность и оптимизировать трудоёмкость обращения с жидким водородом. Замкнутый контур с хладагентом, имеющим температуру перехода в твёрдую фазу ниже температуры жидкого водорода (в качестве хладагента можно взять гелий), обеспечивает циркуляцию потока и ввод тепла для кипения именно в сосуд Дьюара. Уровень жидкого водорода снижается по мере его кипения, и рабочая часть контура погружения в жидкость уменьшается. Для поддержания требуемого объёма утилизированного тепла предлагается изменить производительность насоса, прокачивающего хладагент по замкнутому контуру.

К данному контуру для теплообмена имеется возможность подключить вторичные контуры с потоками нагретого воздуха или контуры других хладагентов из салона транспорта, от двигателей и иных элементов, нуждающихся в охлаждении. Использование вторичных контуров позволит обеспечить эффективную подготовку циркулирующих в них хладагентов (например, отделять воду, которая содержится в охлаждаемом воздухе и которая может засорить вторичный контур при её замерзании).

Газообразный водород, полученный в результате кипения в сосуде Дьюара, попадает в систему питания водородного ТЭ, имеющую возможность запитываться газообразным водородом из отдельного бака или магистрали, предназначенной для ТС. Такое решение способствует выработке электроэнергии независимо от наличия газообразного водорода в среде, где движется ГТС, или от количества выделяемого газа в сосуде Дьюара.

## Выводы и дальнейшие направления исследования

Данная работа – первая часть обширного исследования эффективности использования утилизатора тепла на основании рассмотрения теплофизических свойств веществ, применяемых в качестве хладагентов. По критерию минимальной массы хладагента оптимальным веществом является сжиженный водород.

Для полной оценки задействования жидкого водорода в качестве хладагента стоит применять комплексный подход и рассматривать другие аспекты: объём, занимаемый утилизатором тепла; сложность используемого оборудования; стоимость системы при работе с конкретным теплоносителем для обеспечения надёжности и безопасности; трудоёмкость замены оборудования; требования

к безопасности эксплуатации и квалификации обслуживающего персонала. Кроме того, следует отметить такой важный момент, как возможность реализации рассматриваемого метода утилизации холода на существующих ТС. Предложенная в настоящем исследовании схема позволяет это сделать.

При использовании сжиженного водорода также значительно изменяется удельный объём отработанного (газообразного) и загружаемого (жидкого) водорода. Отличительный положительный эффект при применении водорода – уменьшение массы не только хладагента, но и всего ТС. При сбросе газообразного водорода в тоннель неизбежно возникают негативные последствия – увеличение мощности насосов, поддерживающих разрежение в тоннеле. По этой причине сброс лишнего водорода является нежелательным.

В настоящем исследовании уделяется внимание анализу равномерного прямолинейного движения, т. е. движения ТС с неизменной мощностью. При разгоне и торможении соотношение потребляемой электрической мощности и выделяемой тепловой будет изменяться по сравнению с равномерным ходом. Соответственно, в дальнейшем необходимо выполнить расчёт теплового баланса при движении ГТС на участках разгона и торможения, что может послужить целью следующей работы в данном направлении.

## Литература

1. Щитов, С.В. Оптимизация энергетических затрат транспортного средства по скорости движения / С.В. Щитов, З.Ф. Кривуца, Е.Е. Кузнецов // Актуальные вопросы энергетики в АПК: материалы всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Благовещенск, 19 февр. 2020 г. / Дальневост. гос. аграр. ун-т. – Благовещенск: Дальневосточ. ГАУ, 2020. – С. 97–102.
2. Егоров, Р.Н. Оптимизация скорости в транспортных процессах / Р.Н. Егоров // Международный технико-экономический журнал. – 2009. – № 4. – С. 65–67.
3. Башаркин, М.В. Скоростной трамвай как элемент модернизации транспортной системы Самары / М.В. Башаркин, А.А. Ионов, С.А. Окладов // Наука и образование транспорту. – 2016. – № 1. – С. 237–240.
4. Чеченова, Л.М. Перспективы развития скоростного железнодорожного транспорта / Л.М. Чеченова, Ю.В. Егоров, Н.В. Вольхина // Транспортные системы и технологии. – 2019. – Т. 5, № 3. – С. 26–35.
5. Подвербный, В.А. Проектирование скоростного пассажирского рельсового транспорта Иркутской агломерации /

В.А. Подвербный, В.В. Казарина, О.В. Подвербная // Проектирование развития региональной сети железных дорог. – 2016. – № 4. – С. 308–326.

6. Муссакаев, О.П. Применение технологии магнитной левитации на транспорте / О.П. Муссакаев, В.К. Чикалина // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2020. – Т. 1, № 7. – С. 173–174.
7. Сивко, Ю.Д. Магнитные материалы. Левитация. Маглев / Ю.Д. Сивко, А.П. Иванова // Молодёжная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития: материалы всерос. науч.-исслед. конф., Оренбург, 25 апр. 2019 г. / Оренбург. ин-т путей сообщения – ф-л ФГБОУ ВО «Самар. гос. ун-т путей сообщения». – Ростов н/Д: Юж. ун-т (ИУБиП), 2019. – С. 41–43.
8. Технологии [Электронный ресурс] // Unisky String Technologies Inc. – Режим доступа: <https://unisky.com/technologies?lang=ru>. – Дата доступа: 15.12.2021.
9. Дмитриев, А.И. Транспортные системы на основе магнитной левитации: технология, экономика, безопасность / А.И. Дмитриев // Транспортное право и безопасность. – 2016. – № 8 (8). – С. 24.
10. Липидус, Б.М. Магнитная левитация – фундаментальная основа для сверхскоростных вакуумно-левитационных транспортных технологий / Б.М. Липидус // Транспортные системы и технологии. – 2018. – Т. 4, № 3. – С. 26–35.
11. Dudnikov, E.E. Advantages of a New Hyperloop Transport Technology / E.E. Dudnikov // Management of Large-Scale System Development (MLSD): Proceedings of the 10<sup>th</sup> Intern. Conf., Moscow, 2–4 Oct. 2017 / V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences. – IEEE, 2017. – P. 1–4.
12. Гиперскоростной транспортный комплекс: пат. ВУ 037983 / А.Э. Юницкий. – Опубл. 18.06.2021.
13. Скворцов, Д.В. Классификация видов охлаждения электрических машин / Д.В. Скворцов, А.Г. Михайлов, С.С. Плотников // Вестник современных исследований. – 2016. – № 2–1 (2). – С. 144–148.
14. К вопросу о системах охлаждения блоков энергетических силовых установок транспортных средств / В.Д. Червенчук [и др.] // Инновационные технологии в АПК как фактор развития науки в современных условиях: сб. всерос. (нац.) науч.-практ. конф., Омск, 29 нояб. 2019 г. / Омский гос. аграр. ун-т им. П.А. Столыпина. – Омск: Омский ГАУ, 2019. – С. 452–456.
15. Горяев, А.Б. Повышение надёжности работы систем охлаждения энергетического оборудования путём установки орошающих устройств / А.Б. Горяев, А.М. Телевный, О.Е. Прун // Надёжность и безопасность энергетики. – 2017. – № 2 (13). – С. 60–62.
16. Dearman: Technology Firm Drives a Cold and Power Revolution [Electronic resource]. – Mode of access: <https://gov.uk/government/case-studies/dearman-technology-firm-drives-a-cold-and-power-revolution>. – Date of access: 02.08.2022.
17. Tafonea, A. Integrating an Oxygen Enriched Waste to Energy Plant with Cryogenic Engines and Air Separation Unit: Technical, Economic and Environmental Analysis / A. Tafonea, F.D. Magroa, A. Romagnoli // Applied Energy. – 2018. – No. 231. – P. 423–432.
18. Prodan, G. How to Make Quick Changeovers and Storage Optimization / G. Prodan // Science and Society: Collection of Scientific Articles / ed. S.I. Drobyazko. – Namur: Fadette Editions, 2020. – P. 53–58.
19. Motwani, S. Experiencing Hyperloops: The Transit of the Future / S. Motwani, A. Gupta // Computer. – 2021. – Vol. 54, No. 7. – P. 37–45.
20. Hyperloop Alpha [Electronic resource]. – Mode of access: [https://www.tesla.com/sites/default/files/blog\\_images/hyperloop-alpha.pdf](https://www.tesla.com/sites/default/files/blog_images/hyperloop-alpha.pdf). – Date of access: 02.08.2022.
21. Глухов, Е.И. Применение льдоаккумулятора на примере охлаждения молока / Е.И. Глухов // Пищевые инновации и биотехнологии: сб. тез. IX междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных в рамках III междунар. симпозиума «Инновации в пищевой биотехнологии», Кемерово, 17–19 мая 2021 г. / Кемеров. гос. ун-т; под общ. ред. А.Ю. Просекова. – Кемерово: КемГУ, 2021. – С. 92–93.
22. Моишеев, И.М. Контурность системы принудительного охлаждения водородом / И.М. Моишеев // Теплофизика высоких температур. – 1974. – Т. 12, № 6. – С. 1257–1266.
23. Варгафтик, Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н.Б. Варгафтик. – Изд. 2-е. – М.: Наука, 1972. – 721 с.
24. Large-Scale Production and Transport of Hydrogen from Norway to Europe and Japan: Value Chain Analysis and Comparison of Liquid Hydrogen and Ammonia as Energy Carriers / Y. Ishimoto [et al.] // International Journal of Hydrogen Energy. – 2020. – Vol. 45, No. 58. – P. 32865–32883.
25. Price of Breathing. Medical Oxygen Procurement for Hospitals [Electronic resource]. – Mode of access: <https://ti-ukraine.org/en/blogs/price-of-breathing-medical-oxygen-procurement-for-hospitals>. – Date of access: 02.03.2022.

# Разработка концепции интеллектуальной системы непрерывной дистанционной диагностики технического состояния путевых структур экваториальной эстакады общепланетарного транспортного средства

УДК 624.21.037:620.179.1

Юницкий А.Э.<sup>1,2</sup>,  
доктор философии транспорта

Бочкарёв Д.И.<sup>2,3</sup>,  
кандидат технических наук

Холодилов О.В.<sup>3</sup>,  
доктор технических наук

<sup>1</sup> ООО «Астроинженерные технологии»,  
г. Минск, Беларусь

<sup>2</sup> ЗАО «Струнные технологии»,  
г. Минск, Беларусь

<sup>3</sup> Белорусский государственный университет транспорта,  
г. Гомель, Беларусь



Стартовая эстакада общепланетарного транспортного средства (ОТС), размещённая вдоль экватора, представляет собой взлётно-посадочное, энергетическое, инфраструктурное и коммуникационное сооружение эстакадного типа, которое предназначено для геокосмических перевозок. Эстакада ОТС является сложной инженерной конструкцией, труднодоступной для проведения осмотров по традиционной технологии. В данной связи актуальным видится использование системы непрерывного мониторинга технического состояния основных элементов рассматриваемого ответственного инженерного объекта. В настоящей работе предложена концепция интеллектуальной системы непрерывной дистанционной диагностики технического состояния путевых структур экваториальной эстакады, основанная на применении методов акустической эмиссии и распределённого акустического зондирования, которые позволяют оперативно и с высокой точностью диагностировать дефекты в линейных объектах большой протяжённости.

**Ключевые слова:** акустическая эмиссия, диагностика, неразрушающий контроль, общепланетарное транспортное средство (ОТС), путевая структура, распределённое акустическое зондирование.





## Введение

Одной из важнейших задач при эксплуатации сложно нагруженных технических объектов ответственного назначения, к которым относится эстакада общепланетарного транспортного средства (ОТС) [1], является обеспечение безопасности. В общем случае прочность элементов таких конструкций и их ресурс задаются на стадии разработки и проектирования. Однако воздействие знакопеременных нагрузок, коррозионно-активной среды, колебаний температуры и других эксплуатационных факторов, а также наличие в материале технологических или эксплуатационных дефектов существенно снижают срок службы.

Для предотвращения перехода конструкции в предельное состояние, возникшее по вышеперечисленным причинам, необходимо осуществлять неразрушающий контроль (НК), причём желательнее в режиме реального времени.

Традиционные методы и средства дефектоскопии направлены на выявление уже имеющихся дефектов. При этом важнейшая характеристика технических возможностей методов НК – чувствительность, которая определяется наименьшими размерами выявляемых дефектов:

- для поверхностных дефектов – шириной раскрытия у выхода на поверхность, протяжённостью в глубь материала и по поверхности детали;
- для объёмных дефектов – размерами с указанием глубины залегания.

Сравнительные данные по чувствительности некоторых методов НК приведены в таблице 1 [2–4].

Акустические методы НК подразделяются на две группы – активные и пассивные. Активные основаны на излучении, приёме и анализе упругих колебаний (акустических волн),

пассивные – только на приёме и анализе волн, возникающих при образовании дефекта, источником которых служит сам контролируемый объект.

Согласно ГОСТ 18353-79 [5] к пассивным акустическим методам относят:

- метод акустической эмиссии (АЭ), позволяющий выявлять зарождающиеся дефекты и прогнозировать остаточный ресурс деталей, выработавших свой нормативный срок службы;
- вибрационный метод, анализирующий параметры вибрации какой-либо отдельной детали или узла (ротор, подшипники и др.) с помощью приёмников контактного типа;
- шумодиагностический метод, изучающий спектр шумов работающего механизма с помощью микрофонных приёмников.

Характерным примером активного метода является ультразвуковой контроль (УЗ-контроль). Как вид НК, он объединяет ряд направлений, основные из которых используют эхо-метод, теневой, зеркальный, дифракционно-временной методы (time of flight diffraction – TOFD), метод фазированных решёток, УЗ-толщинометрию и др. Данные методы контроля направлены на поиск локализованных образовавшихся дефектов, однако не способны обнаруживать дефекты размером менее четверти длины УЗ-волны в контролируемом материале, т. е. менее 2–5 мм [6]. При этом информация о дефекте, полученная активными методами, не содержит сведений о динамике его развития. Кроме того, посредством данных методов затруднительно осуществлять непрерывный контроль технического состояния объекта одновременно по всей его длине, что особенно актуально для протяжённых линейных объектов, какими являются путевые структуры эстакады ОТС.

Таблица 1 – Чувствительность некоторых методов НК

Метод	Минимальные размеры выявляемых несплошностей, мкм		
	Ширина раскрытия	Глубина	Протяжённость
Визуально-оптический	5–100	10–30	100
Капиллярный:			
• цветной	1–2	10–30	100–300
• люминесцентный	1–2	10–50	100–300
Магнитопорошковый	1	150–200	30
Вихретоковый	0,5–1	–	600–2000
Ультразвуковой	1–30	2–3 % от толщины изделия	–
Радиографический	100	1,5–3 % от толщины изделия	–

В процессе эксплуатации объекта происходит накопление в материале усталостных повреждений, которые на начальной стадии развития оперативно не могут быть обнаружены техническими средствами основных методов НК, приведённых в таблице 1. Вопрос о безопасной эксплуатации таких конструктивных элементов возможно решить только с использованием средств НК, чувствительных к развивающимся дефектам. Следовательно, задача выявления растущих трещин, в том числе находящихся на начальной стадии развития, представляется особенно актуальной.

В решении данной задачи хорошо зарекомендовал себя интегральный метод обследования, основанный на явлении акустической эмиссии, который обнаруживает и регистрирует трещины, находящиеся в начальной стадии возникновения или способные к развитию под действием механической нагрузки, и имеет высокую чувствительность к росту дефектов (диагностирует увеличение трещины на 1–10 мкм).

Другое альтернативное направление, используемое для мониторинга технического состояния рельсов путевых структур эстакады ОТС, – метод распределённого акустического зондирования (distributed acoustic sensing – DAS). Данный метод реализуется с помощью оптоволоконной проложенной вдоль каждого пути. Движение транспортных средств вызывает акустическую вибрацию кабеля, при этом поверхностные и глубинные дефекты взаимодействующей системы «колесо – рельс» приводят к изменению отражения сигнала, которое фиксируется посредством фотодетектора. Таким образом, обеспечивается возможность постоянно и непрерывно регистрировать величину акустического воздействия, а следовательно, и техническое состояние рельсов на всём протяжении линии.

Место воздействия на волокно определяется рефлектометром по разности рефлектограмм. Контроль местоположения подвижных объектов проводится с точностью 1–2 м на расстоянии до 40 км от рефлектометра и центрального обработчика. Кроме того, фиксируется их скорость движения, ускорение и местоположение для системы интервального регулирования.

Непрерывный анализ диагностической информации, формируемой на основе воспринимаемых чувствительными элементами (датчиками) акустических сигналов на всём протяжении экваториальной эстакады ОТС, даёт возможность системе контроля технического состояния объективно оценивать опасность процессов, происходящих в деформируемом материале, и спрогнозировать разрушающую нагрузку и остаточный ресурс отдельных элементов конструкции и всего сооружения, а также оперативно

управлять движением. Это позволяет рассматривать каждую путевую структуру эстакады ОТС в качестве интеллектуального устройства, собирающего посредством системы контроля сведения о своём состоянии и оценивающего его в режиме реального времени, обеспечивая таким образом необходимый и достаточный уровень безопасной эксплуатации. Современная компьютерная техника, программное обеспечение, технологии сетевой и беспроводной связи делают реальным непрерывный дистанционный доступ к диагностической информации, что способствует анализу и обобщению получаемых данных как в рамках локальных, расположенных в наиболее неблагоприятных условиях участков, так и в масштабе всей экваториальной эстакады ОТС.

## Использование метода акустической эмиссии

Физическая сущность метода АЭ состоит в регистрации установленными на поверхности конструкции пьезоэлектрическими преобразователями (датчиками) дискретных волн разгрузки, вызванных структурной перестройкой материала при его деформировании и локальном разрушении (пластическая деформация, скачкообразное развитие трещины и др.). Источник АЭ изменяет динамическое поле сил (или напряжений). На распространение акустической волны в конструкции влияет взаимодействие волны с микроструктурой материала, неоднородностями, а также условия нагружения объекта контроля (ОК). Такие структурные изменения происходят в результате образовавшихся внутри или приложенных извне механических/температурных напряжений. Неразвивающиеся дефекты не излучают сигналов АЭ, поэтому материал конструкции должен быть нагружен до напряжений, достаточных для продвижения трещины [7].

Электрические сигналы, полученные с датчика и прошедшие усиление, поступают в измерительный канал диагностической интеллектуальной АЭ-системы, где производится их фильтрация, увеличение мощности и преобразование сигнала из аналоговой формы в цифровую для последующего ввода в компьютер интеллектуальной системы контроля и управления (ИСКУ) (рисунок 1).

Преимущества метода АЭ заключаются в том, что, с одной стороны, он не требует внешнего источника возбуждения для получения данных о состоянии ОК, с другой – позволяет получать информацию о дефектах на значительном удалении от них. Развитие дефектов служит источником акустических волн, которые распространяются в материале на значительные расстояния, а их фиксация несколькими

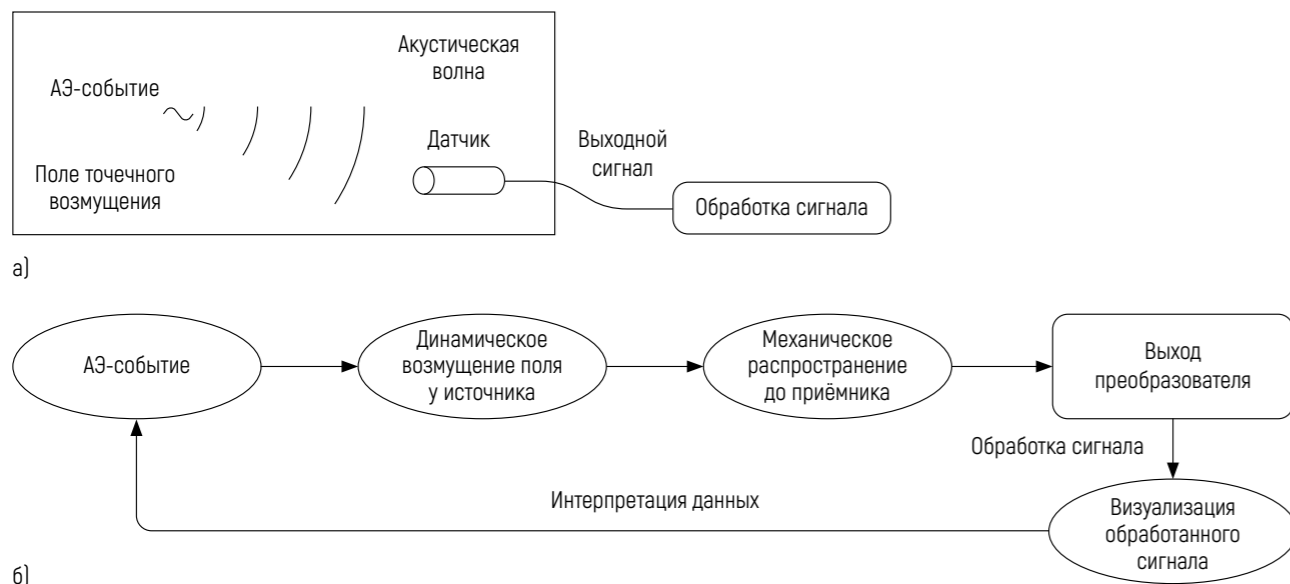


Рисунок 1 – Цепь анализа сигналов АЭ: а – принципиальная схема; б – общий алгоритм функционирования

датчиками позволяет точно определить местонахождение опасного участка [8]. Кроме того, метод АЭ обеспечивает:

- интегральность, т. е. возможность проведения контроля объекта в целом путём установки на его поверхность необходимого количества преобразователей;
- высокую чувствительность. По расчётным оценкам, предельная чувствительность аппаратуры АЭ составляет  $\approx 10^{-6}$  мм<sup>2</sup>, позволяя обнаруживать трещины протяжённостью  $\geq 1$  мкм. В реальных условиях уровень шума выше, чем в лаборатории, что приводит к снижению чувствительности. В то же время на практике метод АЭ способствует выявлению приращения трещины порядка десятых долей миллиметра – такого результата невозможно добиться ни одним из традиционных методов НК;
- возможность проведения контроля в реальном масштабе времени, что предотвращает разрушение технических устройств в процессе эксплуатации.

Основные недостатки метода АЭ:

- необходимость нагружения ОК, поскольку только при этом условии возможна инициация процесса развития повреждений и возникновение акустических сигналов;
- высокая чувствительность к электромагнитным, климатическим, акустическим, вибрационным и прочим шумам, что требует применения специальных методик фильтрации сигнала.

Вместе с тем система диагностики может работать не только с датчиками АЭ, но и с другими типами датчиков,

обеспечивая параллельный ввод в ИСКУ акустических, эксплуатационных и технологических параметров в течение длительного времени, а также автоматизированную оценку состояния материала, включающую определение уровня опасности, прогноз разрушающей нагрузки и остаточного ресурса. Таким образом реализуется комплексный подход к оценке материала и конструкции при нагружении – «вектор состояния», рассматривающий не отдельные измеряемые величины, а их комплекс [8].

Проведённые исследователями [8–16] механические испытания в условиях статического, динамического, циклического и ударного нагружения показали, что посредством АЭ можно отследить процесс повреждаемости и разрушения конструкционных материалов фактически на всех стадиях, включая и собственно развитие трещин, вплоть до разрушения [17]. Апробация методов АЭ в процессе диагностики газопроводов помогла оценить влияние накопления повреждений на акустические характеристики материалов различных классов [18]. Это позволило в совокупности с большим объёмом испытаний различных ответственных технических объектов (сосуды, работающие под давлением, топливные баки ракет, трубопроводы высокого давления и др.) разработать программные методы фильтрации сигналов АЭ в условиях зашумления [8, 14], что даёт возможность устанавливать датчики на значительной отдалённости друг от друга. Величина данных расстояний определяется поглощением сигнала на границах сред и его угасанием. Конкретное значение расстояний между датчиками требует

экспериментального определения с учётом влияния характеристик материалов, непосредственно применяемых в конструкции элементов ОТС.

В результате анализа состояния материалов изделий, подвергшихся разрушению, а также комплексного исследования кинетики накопления повреждений при изломе образцов из исходного материала и материала, длительное время находившегося в эксплуатации, в [8–19] предложены методики прогнозирования остаточного ресурса на основе оценки постепенного накопления повреждений в процессе работы под нагрузкой.

В качестве примеров процесса АЭ на рисунке 2 представлены частотные характеристики волн, распространяющихся в тонких пластинах со скоростями, меньшими

скорости  $C_2$  волны Рэлея, которая равна 0,31 см/мкс. Из рисунка 2а видно: чем толще пластина  $\delta$ , тем выше составляющая в её спектре волны с низкой скоростью. В более толстых пластинах спектр распространяющихся волн сужается; в пластине толщиной 10 см распространяется практически одна волна со скоростью  $0,927C_2$ , близкая к рэлеевской по свойствам.

Как следует из полученной зависимости амплитуды волны от толщины пластины и расстояния от места излучения (рисунки 2б, 2в), одинаковый по мощности источник генерирует в тонкой пластине более значительные амплитуды волн, чем в толстой. Таким образом можно объяснить, что энергия излучения быстрее поглощается в большем объёме металла.

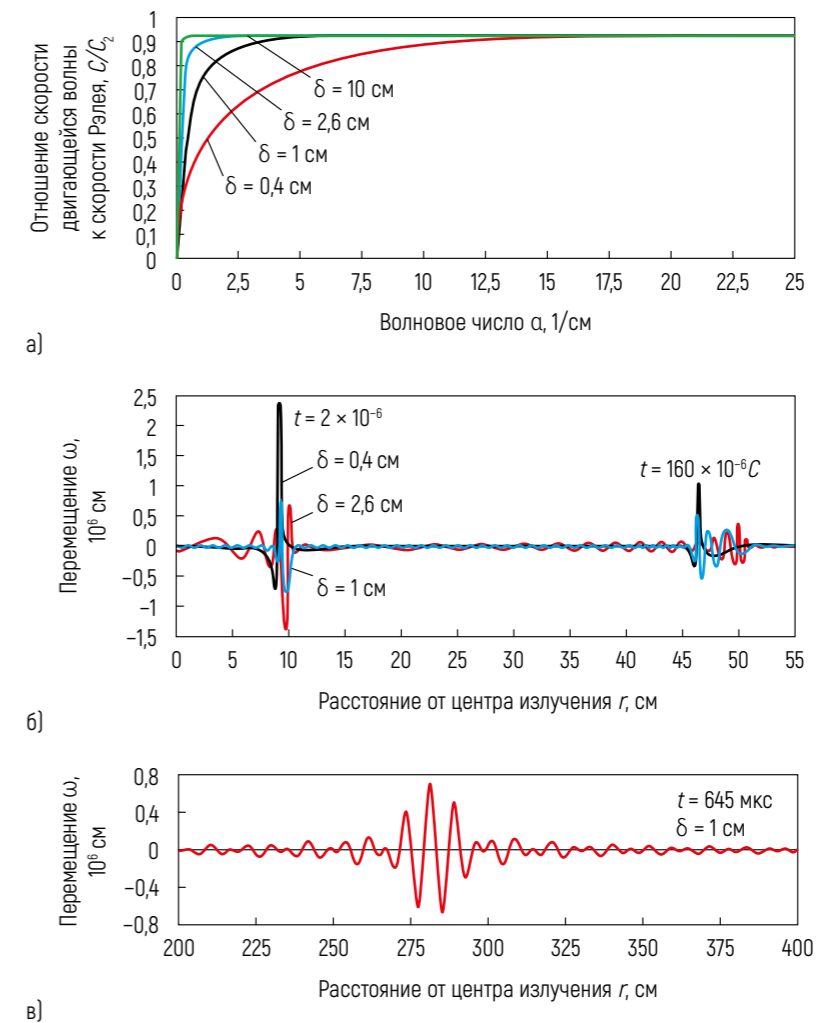


Рисунок 2 – Спектры волн и сигналов АЭ для пластин разной толщины [3]: а – зависимость скорости распространения волн от толщины пластины; б – амплитуда и спектр волн, распространяющихся со скоростями  $< C_2 = 0,31$  см/мкс; в – амплитуда волны, распространяющейся со скоростью  $C = 0,4375$  см/мкс

Полученные результаты могут быть использованы при диагностике технического состояния рельсов путевых структур эстакады ОТС, дорожка качения которых набрана из вертикальных параллельно установленных на ребро стальных пластин (рисунок 3), имеющих толщину в диапазоне, соответствующем представленному на рисунке 2а (основные характеристики приведены в таблице 2).

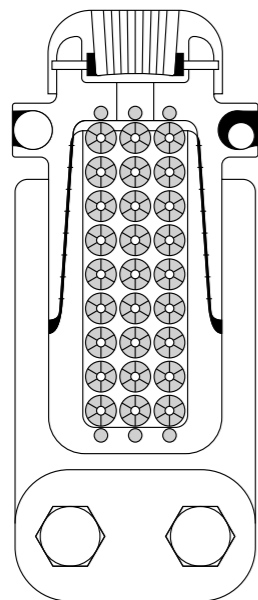


Рисунок 3 – Рельс путевой структуры, дорожка качения которой набрана из параллельно установленных на ребро пластин

Таблица 2 – Основные характеристики материала дорожки качения рельсов путевых структур эстакады ОТС

Параметр	Значение
Минимальный предел прочности, МПа	1100
Минимальный предел текучести, МПа	780
Твёрдость HRC	40–48
Модуль упругости, МПа	200 000 ± 2 %
Относительное удлинение, %, не менее	20
Коэффициент температурного расширения от -40 °С до +60 °С, мкм/(м·°С)	13,8 ± 2 %
Ударная вязкость при -20 °С, Дж/см <sup>2</sup>	60
Ударная вязкость при -40 °С, Дж/см <sup>2</sup>	40
Максимальное скручивание на длине 1000 мм, °, не менее	1

Данные пластины имеют предварительное напряжение ≈10<sup>6</sup> Н и заключены в корпус рельса, изготовленный из алюминиевого сплава, основные характеристики которого приведены в таблице 3. Элементы дорожки качения соединяются равнопрочной сваркой, что позволяет создать пластины бесконечной длины, а корпусные элементы могут быть как мерной длины, так и бесконечной в случае изготовления посредством экструзии.

Таблица 3 – Основные характеристики материала корпуса рельсов путевых структур эстакады ОТС

Параметр	Значение
Минимальный предел прочности, МПа	310
Минимальный предел текучести, МПа	260
Твёрдость HB, не менее	95
Модуль упругости, МПа	70 000 ± 2 %
Относительное удлинение, %, не менее	10
Коэффициент температурного расширения от -40 °С до +60 °С, мкм/(м·°С)	24 ± 2 %
Теплопроводность, Вт/(м·К)	180
Электрическое сопротивление при 20 °С, Ом·мм <sup>2</sup> /м	0,037

### Использование метода распределённого акустического зондирования

Волоконно-оптические сенсорные системы, основанные на эффектах упругого или неупругого рассеяния света в стандартных оптических волокнах телекоммуникационного класса, могут эффективно использоваться в качестве инструментов, позволяющих воспринимать и анализировать акустические сигналы, которые вызываются эксплуатационными нагрузками, движением транспортных средств, воздействием внешней среды в исследуемом объекте или транспортном сооружении. Достоинства данных систем: возможность выполнять с применением одного оптоволоконного кабеля дистанционный непрерывный контроль объектов, имеющих большую протяжённость; отсутствие необходимости в электроэнергии и невосприимчивость к электромагнитным помехам.

В последнее время в области акустической диагностики посредством оптоволоконных систем получили распространение технологии, использующие специально подготовленные сегменты волокон (например, системы на основе волоконной решётки Брэгга (fibre Bragg grating – FBG) для мониторинга

в одной или нескольких точках). Однако по-настоящему распределённые технологии, позволяющие диагностировать линейные объекты большой протяжённости и использующие стандартные оптические волокна, реализованы в системах DAS.

В оптических волокнах происходят три процесса рассеяния (бриллюэновское, рамановское и рэлеевское [таблица 4]), которые можно применить при измерении физических величин, характеризующих деформацию или вибрацию объекта контроля с высоким пространственным разрешением.

Бриллюэновское и рамановское рассеяния представляют собой процессы неупругого рассеяния, в которых задействована передача энергии тепловым колебаниям или от них. Рэлеевское рассеяние – упругое рассеяние, вызванное статическими неоднородностями показателя преломления. Каждый процесс рассеяния обладает определённым спектром, характеризующимся конкретными зависимостями от физических величин, которые могут быть проанализированы (рисунок 4).

DAS основано на когерентном рэлеевском рассеянии. Интерференция света рэлеевского рассеяния от множества рассеивающих центров в волокне приводит к образованию спекл-структуры, т. е. случайной интерференционной картины, которая образуется при взаимной интерференции когерентных волн, имеющих случайные сдвиги фаз или случайный набор интенсивностей. Данная структура чувствительна к изменениям длины волны в волокне, поскольку разница в несколько десятков нанометров вызывает значительное изменение фазы для света с типичной длиной волны ≈1,5 мкм.

Измерения амплитуды рэлеевского сигнала достаточно для чувствительного обнаружения событий, имеющих широкий акустический спектр (например, вибрация, вызванная качением колеса по рельсу). Дополнение полученных данных информацией о фазе позволяет произвести точный количественный анализ сигналов вследствие нелинейного поведения амплитудного сигнала. При этом величина измеряемой амплитуды и информация о фазе могут служить информационным сигналом, свидетельствующим

Таблица 4 – Измеряемые оптические величины и физические параметры процессов рассеяния в оптических волокнах

Процесс рассеяния	Измеряемые оптические величины	Физические параметры
Рамановское	Амплитуда $T$	Температура
Бриллюэновское	Частота $\nu$ , амплитуда $T$	Температура, деформация
Рэлеевское	Амплитуда $T$ , фаза $s$	Температура, динамическая деформация

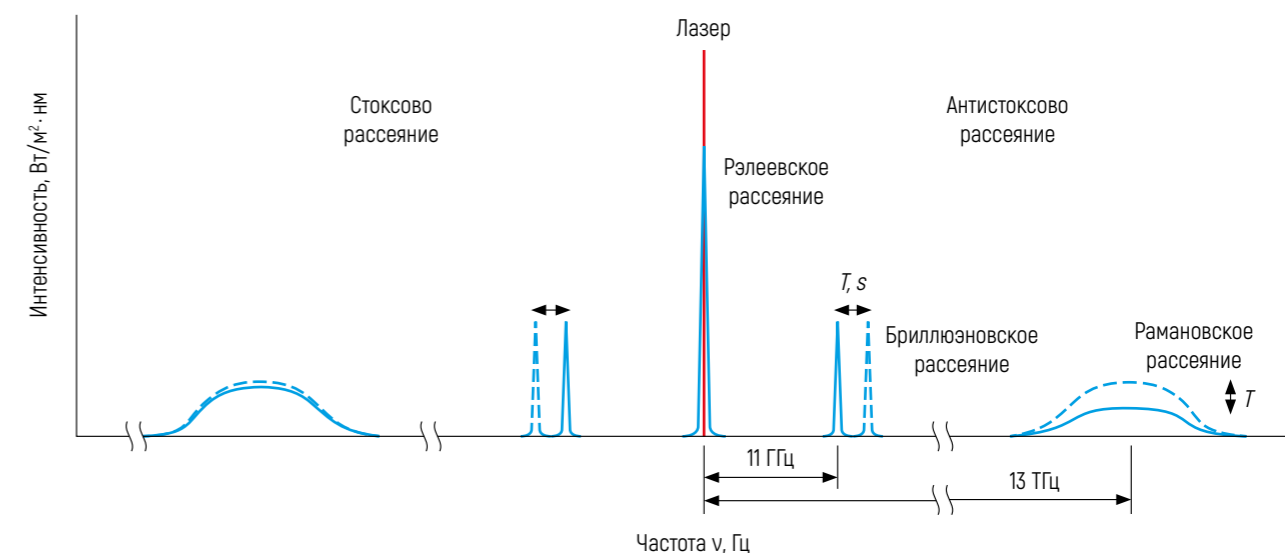


Рисунок 4 – Схематическое представление спектральных компонентов светового рассеяния в оптическом волокне

о появлении дефектов на дорожке качения (поверхности катания) рельса или взаимодействующего с ним колеса, что даёт возможность осуществлять непрерывную дистанционную диагностику путевых структур и транспортных средств.

Периодическое относительное удлинение на 150 нм оптоволоконного отрезка, имеющего длину 15 м, приводит к появлению сигнала, который фиксируется на расстоянии 70 км (рисунок 5). Наблюдаемое пространственное разрешение для этого очень слабого и удалённого события составляет  $\approx 15$  м; на более коротких расстояниях возможно регистрировать удлинения в диапазоне 1–10 нм, что свидетельствует о высокой чувствительности DAS-диагностики.

Совершенствование алгоритмов DAS-диагностики, основанных на анализе спектральных, временных или пространственных характеристик события, а также использование технологий машинного обучения будет способствовать ещё более надёжной идентификации дефектов, что обуславливает не только непрерывность и дистанционное проведение диагностики, но и высокую точность обнаружения повреждений и отклонений от требуемых эксплуатационных параметров. При этом конструкция рельсов путевых структур ОТС (рисунок 3) позволяет прокладывать оптоволоконные кабели непосредственно внутри корпусных элементов, в которых смонтированы пластины наборной дорожки качения, что обеспечивает высокую чувствительность и рациональную компоновку системы.

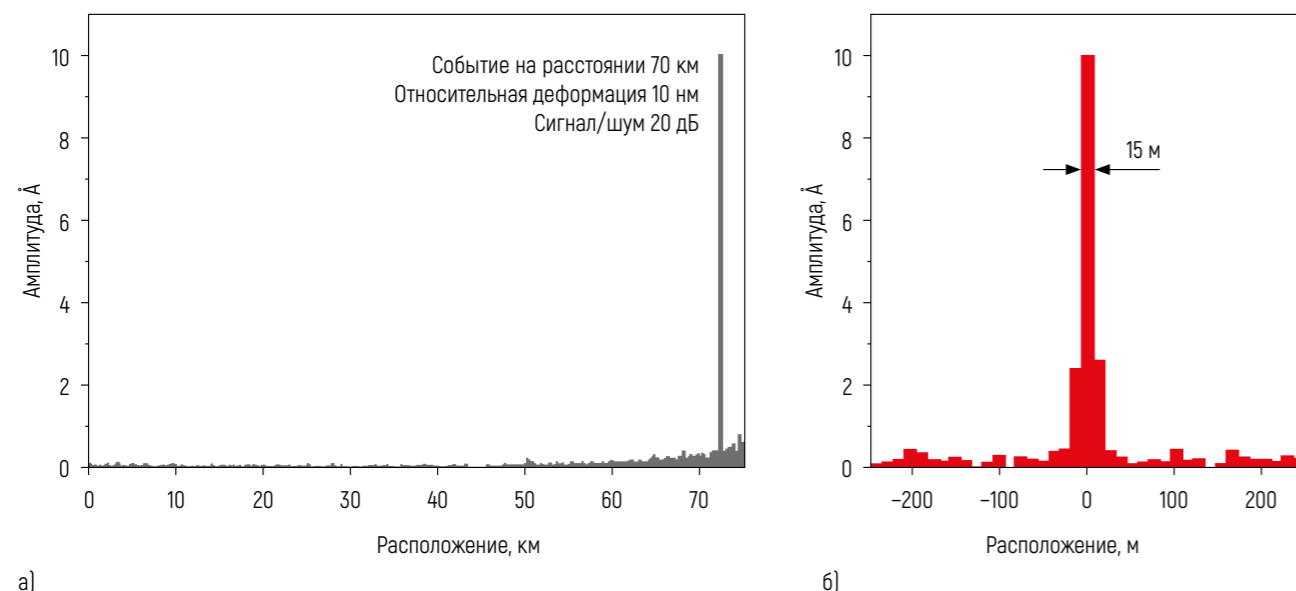


Рисунок 5 – Чувствительность метода DAS в отношении события, находящегося на значительном удалении: а – регистрация; б – пространственное разрешение

### Использование волоконно-оптической сенсорной системы для диагностики предварительно напряжённых элементов эстакады ОТС

Натяжение конструктивных элементов предварительно напряжённой конструкции, к которой относится эстакада ОТС, а также техническое состояние их анкерных узлов (величина возможного проскальзывания) влияют на безопасность, надёжность и долговечность всего сооружения. Приблизительное определение величины натяжения рассматриваемых элементов возможно посредством анализа прогибов межпролётных участков. В то же время подобный метод не обеспечивает требуемой точности. Применение тензометрических датчиков, эффективно используемых для определения напряжений, перемещений и деформаций, в данном случае не может быть реализовано вследствие высокой вероятности их повреждения в процессе натяжения конструктивных элементов, в частности канатов. Методики расчёта величины натяжения предварительно напряжённых элементов конструкции под действием эксплуатационных нагрузок также носят вероятностный характер ввиду большого количества допущений.

Одним из возможных решений данной проблемы может быть задействование канатов, в сердечник которых интегрирован армированный углеродным волокном волоконно-оптический кабель, представляющий собой волоконную

решётку Брэгга, что было успешно реализовано в [20] и представлено на рисунке 6.

Характеристики данного каната аналогичны стандартным, имеющим равный диаметр, в частности для каната диаметром 15,2 мм предел прочности при растяжении составляет 1860 МПа. Таким образом, данный канат можно рассматривать одновременно как конструктивный элемент сооружения и как измерительный датчик системы диагностики.

Исследования, описанные в [20], показали высокую точность определения величины натяжения предварительно напряжённых канатов железобетонных конструкций с интегрированным волоконно-оптическим кабелем, а также возможность точного установления величины проскальзывания канатов в анкерном креплении.

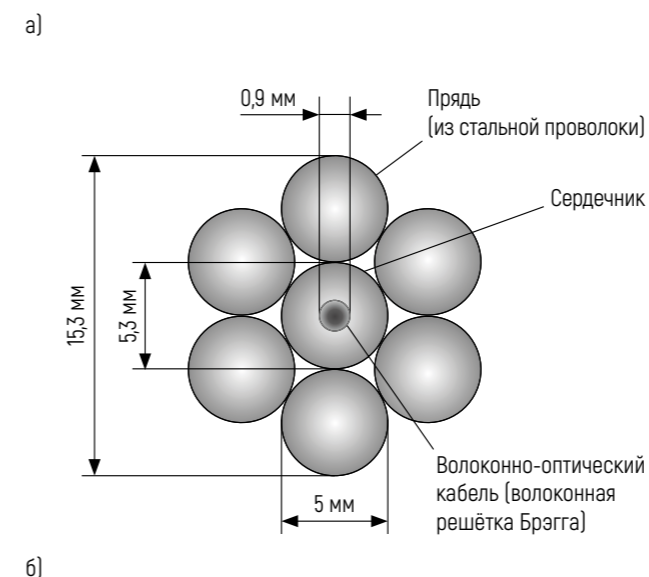


Рисунок 6 – Канат с интегрированным волоконно-оптическим кабелем: а – общий вид; б – поперечное сечение

### Определение надёжности и долговечности волоконно-оптических кабелей системы интеллектуальной диагностики

Определения ресурса, надёжности и долговечности волоконно-оптических кабелей рассмотрены в ряде работ [21, 22]. Прочность волоконных световодов зависит от многих факторов, основным из которых является наличие поверхностных и объёмных дефектов и трещин, возникающих вследствие изъянов в заготовках или абразивного воздействия контактирующих с поверхностью кварцевого стекла твёрдых тел. При нагружении волокна дефекты выступают в роли концентраторов напряжений. Процесс разрушения определяется следующими причинами: характером нагруженного состояния, скоростью нагружения, окружающей средой, структурой волокна. Данные параметры необходимо учитывать в расчётах, отражающих конкретные условия эксплуатации (в особенности в случае предварительного напряжения) реальной конструкции или сооружения.

Кроме того, важным контролируемым показателем при проведении испытаний волоконно-оптических кабелей является коэффициент затухания оптического сигнала. Процедура его определения регламентирована в [23]. Однако известны случаи, когда коэффициент затухания практически не изменяется до обрыва оптического волокна; иногда волокна с нормальным затуханием выходят из строя после незначительной наработки [24]. Причина такого явления может заключаться в недопустимом растяжении кабеля при прокладке или в остаточной деформации, возникшей при изготовлении. Проведённые исследования показали существенную зависимость между относительным удлинением волокна в кабеле и его ресурсом [25]. В соответствии с полученными данными допустимое значение относительного удлинения оптического волокна в оптическом кабеле для обеспечения срока службы 30–40 лет не должно превышать 0,25–0,3 % [24]. Следовательно, при проведении испытаний оптических кабелей на стойкость к механическим воздействиям предложено измерять именно относительное удлинение оптического волокна, а не коэффициент затухания [24]. Измерения можно проводить методом регистрации изменения фазы амплитудно-модулированного сигнала, проходящего по волокну, или с помощью бриллюэновского рефлектометра. Например, при необходимости обеспечения ресурса оптического кабеля более чем 30 лет относительное удлинение не должно превышать 0,25 % [24].

На основании вышеизложенного данный параметр должен быть учтён при разработке проектной и конструкторской документации на эстакаду ОТС и контролироваться в процессе эксплуатации интеллектуальной системы её диагностики.

## Автоматизация процесса мониторинга технического состояния элементов эстакады ОТС

Вышеперечисленные методы акустической диагностики для неразрушающего контроля рельсов эстакады ОТС в условиях эксплуатации могут быть реализованы в виде непрерывного мониторинга, в процессе которого акустическая активность отслеживается постоянно, а оснащение системы мониторинга средствами автоматизации позволяет оперативно в реальном времени получать информацию о состоянии ОК и своевременно предотвращать опасные ситуации. Вследствие этого к ОК применимо понятие «интеллектуальная конструкция», которая сама определяет, в каком состоянии она находится и можно ли продолжать её дальнейшую эксплуатацию. Для удовлетворения поставленным требованиям система диагностики такой конструкции должна обеспечивать следующие основные функции:

- измерение, обработку и представление с заданной степенью вероятности исходных данных, необходимых для оценки технического состояния (несущей способности);
- экстраполяцию полученных исходных данных в направлении принятой прогнозной координаты;
- расчёт несущей способности и остаточного ресурса по поступившей прогнозной информации, а также дополнительных сведений, характеризующих условия производства и текущего содержания;
- оценку состояния конструкции и возможных сценариев развития дефекта с обработкой вариантов последствий по степени опасности;
- выбор соответствующего варианта и принятие оптимального решения;
- в соответствии с принятым решением изменение режима работы (ограничение массы транспортных средств, их скорости движения, осевой нагрузки на рельсы) с целью выхода из аварийного состояния, сообщение о необходимости выполнения ремонтно-восстановительных работ, необходимости частичного или полного прекращения функциональной деятельности участков путевых структур или объекта в целом;
- передачу информации о техническом состоянии рельсов путевых структур в центральную интеллектуальную систему управления для принятия решения по дальнейшей эксплуатации или изменению её параметров.

Таким образом, основой интеллектуальной системы диагностики является блок обработки сигнала (БОС), в котором осуществляется усиление акустических сигналов, фильтрация, оцифровка при помощи аналого-цифрового

преобразователя (АЦП), цифровая обработка и регистрация параметров сигналов, их формы и передача этих параметров по радиоканалу в рабочую станцию. БОС, имеющий АЦП АЭ, представляет собой полнофункциональный цифровой канал, осуществляющий вычисление всех параметров акустических сигналов и регистрацию их формы.

Система может работать в двух режимах: в режиме непосредственной передачи сигналов от БОС к модулю центральному приёмно-передающему (МЦПП) и в сетевом режиме, когда БОС передают сигналы к МЦПП по цепи через соседние БОС (рисунок 7). Данный режим наиболее подходит для контроля протяжённых объектов (рельсов путевых структур эстакады ОТС).

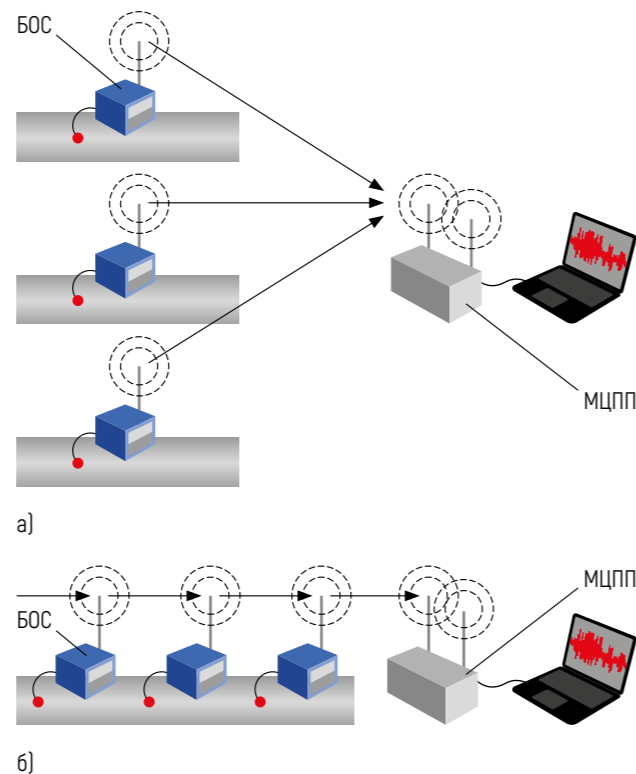


Рисунок 7 – Интеллектуальная система диагностики:  
а – режим непосредственной передачи сигналов; б – сетевой режим

## Выводы и дальнейшие направления исследования

Анализ технологий НК, применение которых возможно для непрерывной дистанционной диагностики конструктивных элементов ОТС (в частности, путевых структур), показывает наибольшую эффективность методов АЭ и DAS.

Первый из них основан на том, что достаточно быстрое протекание физических процессов изменения структуры в ограниченном объеме материала (пластическая деформация, разрушение, образование и рост трещин, движение дислокаций, фазовые превращения, трение и др.) сопровождается излучением акустических волн. Описанное явление называют АЭ материала и используют в НК для обнаружения активно развивающихся под нагрузкой дефектов. Важным достоинством представленного метода является прямая связь информативных параметров сигналов АЭ с процессами разрушения, не свойственная традиционным методам. Это позволяет постоянно и дистанционно получать информацию о стадии развития и скорости роста дефекта.

Технология DAS использует волоконно-оптический кабель в качестве чувствительного элемента (датчика) для измерения акустического воздействия с высоким пространственным разрешением по всей длине приёмной системы, что оптимально подходит для объектов большой протяжённости, а также позволяет осуществлять контроль натяжения предварительно напряжённых элементов конструкции эстакады ОТС.

Развитие и апробация рассмотренных выше технологий диагностики и мониторинга на основе методов АЭ и DAS требуют разработки соответствующих методик и технических нормативных правовых актов, отражающих особенности, связанные с конструктивным исполнением рельсов, путевых структур и других конструктивных элементов эстакады ОТС. Кроме того, необходимо усовершенствовать применяемые методы и средства диагностики. Тем самым будут созданы условия для комплексного системного подхода к диагностированию, оценке и прогнозированию технического состояния такого сложного и ответственного сооружения, как эстакада ОТС, а значит, обеспечены его надёжность и безопасность в течение всего срока службы.

## Литература

1. Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силахрогс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.: ил.
2. Холодилов, О.В. Дефекты материалов и изделий: учеб. пособие / О.В. Холодилов. – Гомель: БелГУТ, 2022. – 242 с.
3. Неразрушающий контроль: практ. пособие: в 5 кн. / под ред. В.В. Сухорукова. – М.: Высш. шк., 1992. – Кн. 3: Герасимов, В.Г. Электромагнитный контроль / В.Г. Герасимов, А.Д. Покровский, В.В. Сухоруков. – 312 с.

4. Неразрушающий контроль: справ.: в 7 т. / под общ. ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2004. – Т. 3: Ермолов, И.Н. Ультразвуковой контроль / И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. – 864 с.
5. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов: ГОСТ 18353-79. – Взамен ГОСТ 18353-73; введ. 01.07.80. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 12 с.
6. Буйло, С.И. Физико-механические, статистические и химические аспекты акустико-эмиссионной диагностики / С.И. Буйло. – Ростов н/Д; Таганрог: Изд-во Юж. федерал. ун-та, 2017. – 183 с.
7. Холодилов, О.В. Акустическая диагностика / О.В. Холодилов // Трибология. Состояние и перспективы: сб. науч. тр.: в 4 т. / под ред. И.Г. Горячевой, М.А. Броновца. – Уфа: РИК УГАТУ, 2016. – Т. 1. – С. 212–234.
8. Опыт ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины в области акустико-эмиссионного контроля / Б.Е. Патон [и др.] // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2012. – № 1. – С. 7–22.
9. Чернов, Д.В. Разработка методов диагностики усталостных трещин с помощью акустической эмиссии: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.13 / Д.В. Чернов. – М., 2018. – 148 л.: ил.
10. Кареев, А.Е. Разработка методов обработки сигналов акустической эмиссии на основе кластерного анализа для повышения надёжности контроля машиностроительных конструкций: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.11 / А.Е. Кареев. – Новосибирск, 2006. – 160 л.: ил.
11. Стадниченко, В.Н. Методика исследования переходных процессов в узлах трения гидромашин с использованием метода акустической эмиссии: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.13 / В.Н. Стадниченко. – Харьков, 1997. – 186 л.
12. Рудакова, А.В. Идентификация опасных состояний механических конструкций методом акустической эмиссии: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.03 / А.В. Рудакова. – Херсон, 1997. – 162 л.
13. Ковтун, И.И. Диагностика прочности неразъёмных элементов конструкций методом акустической эмиссии: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.02 / И.И. Ковтун. – Хмельницкий, 1998. – 175 л.
14. Муравьёв, М.В. Разработка методики неразрушающего контроля рельсов в условиях эксплуатации на основе анализа формы и энергетических характеристик сигналов акустической эмиссии: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.13 / М.В. Муравьёв. – Новосибирск, 2003. – 167 л.
15. Бехер, С.А. Анализ параметров сигналов акустической эмиссии и её потоковых характеристик при диагностировании металла осей колёсных пар: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.11 / С.А. Бехер. – Новосибирск, 2004. – 145 л.

16. Горошко, А.В. Комп'ютерна акустико-емісійна діагностика технічного стану деталей і конструкцій: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.11.13 / А.В. Горошко; Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу. – Івано-Франківськ, 2003. – 20 с.
17. Чаусов, Н.Г. Влияние вида напряжённого состояния на параметры акустической эмиссии на заключительных стадиях деформирования металлов / Н.Г. Чаусов, С.А. Недосека, А.А. Лебедев // *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. – 1993. – № 3. – С. 18–23.
18. Оценка повреждённости металла действующих газопроводов методом АЭ-сканирования / А.А. Лебедев [и др.] // *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. – 2001. – № 1. – С. 8–12.
19. Недосека, С.А. Комплексная оценка повреждённости и остаточного ресурса металлов с эксплуатационной нагрузкой / С.А. Недосека, А.Я. Недосека // *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. – 2010. – № 1. – С. 9–16.
20. *Analysis of Short-Term Prestress Losses in Post-Tensioned Structures Using Smart Strands* / K. Sang-Hyun [et al.] // *International Journal of Concrete Structures and Materials*. – 2022. – Vol. 16, No. 1. – P. 1–15.
21. Семенюта, Н.Ф. Волоконно-оптические линии связи и телекоммуникационные системы передачи на железнодорожном транспорте / Н.Ф. Семенюта, П.М. Буй. – Гомель: БелГУТ, 2012. – 205 с.
22. Зубилевич, А.Л. К определению параметров надёжности оптических волокон / А.Л. Зубилевич, В.А. Колесников // *T-Comm: Телекоммуникации и транспорт*. – 2015. – Т. 9, № 4. – С. 23–26.
23. Волокна оптические. Часть 1-40. Методы измерений и проведение испытаний. Затухание: ГОСТ Р МЭК 60793-1-40-2012. – Введ. 01.07.13. – М.: Стандартинформ, 2012. – 19 с.
24. Овчинникова, И.А. Определение надёжности оптических кабелей / И.А. Овчинникова // *Технологии и средства связи*. – 2009. – № 3. – С. 39–41.
25. Овчинникова, И.А. Исследования и разработка оптических кабелей специального назначения: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.09.02 / И.А. Овчинникова; Всерос. науч.-исслед. проект.-конструкт. и технолог. ин-т кабел. пром-сти. – М., 2021. – 41 с.



# Перспективы применения ауксетичных материалов в конструкциях ЭкоКосмоДома

Юницкий А.Э.<sup>1,2</sup>  
доктор философии транспорта

Конёк Д.А.<sup>2</sup>

Шилько С.В.<sup>3</sup>  
кандидат технических наук

Зыль Н.С.<sup>2</sup>

Шемет Д.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО «Астроинженерные  
технологии»,  
г. Минск, Беларусь

<sup>2</sup> ЗАО «Струнные технологии»,  
г. Минск, Беларусь

<sup>3</sup> Институт механики  
металлополимерных систем  
им. В.А. Белого  
Национальной академии наук  
Беларуси,  
г. Гомель, Беларусь



Рассмотрены инновационные ауксетичные материалы (ауксетики), обладающие высокой объёмной сжимаемостью и сдвиговой жёсткостью, способные расширяться/сужаться в направлении, перпендикулярном направлению растяжения/сжатия соответственно. Указанные особенности деформационного поведения выражены в отрицательном коэффициенте Пуассона. Приведён анализ применимости ауксетиков в конструкциях ЭкоКосмоДома (ЭКД) для изготовления фрикционных соединений несущих элементов, герметизирующих и демпфирующих устройств с целью защиты от метеоритных осколков и акустических воздействий, а также снижения термических напряжений.

**Ключевые слова:** ауксетики, вибрации, динамические нагрузки, нулевое термическое расширение, отрицательный коэффициент Пуассона, ЭкоКосмоДом (ЭКД).



## Введение

Для обеспечения эффективного функционирования ЭкоКосмоДома (ЭКД) [1] будут востребованы конструктивные элементы, выполненные из инновационных материалов с особыми деформационными свойствами и имеющие целесообразные адаптивные реакции на эксплуатационные воздействия (силовые, температурные, акустические и др.) [2]. Подобного рода инновации могут базироваться на использовании инвертированных, в частности, ауксетичных материалов (ауксетиков), обладающих отрицательным коэффициентом Пуассона  $\nu$ , т. е. способных расширяться/сужаться в направлении, перпендикулярном направлению растяжения/сжатия соответственно (рисунок 1).

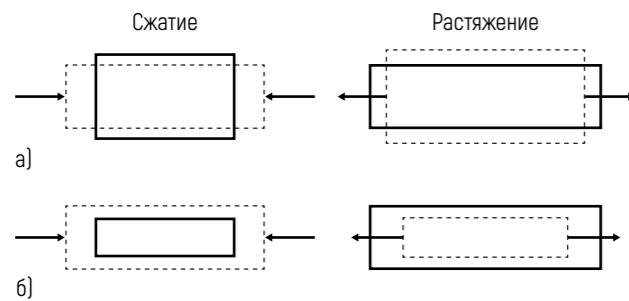


Рисунок 1 – Моды деформирования:  
а – обычный материал; б – ауксетичный материал

На первый взгляд, неположительность  $\nu$  противоречит здравому смыслу, однако возможность существования таких материалов подтверждается известным соотношением теории упругости изотропных тел [3]:

$$\nu = (3K - 2\mu) / (6K + 2\mu), \quad (1)$$

где  $K, \mu$  – модули объёмной деформации и сдвига, имеющие положительные значения.

Из соотношения (1) следует, что отрицательные значения  $\nu$  возможны при условии  $\mu > 3/2K$ , когда модуль сдвига превышает модуль объёмной деформации более чем на 50 %. Значит, коэффициент Пуассона изотропного тела может находиться в диапазоне  $-1 \dots 0,5$ . Верхний предел соответствует несжимаемым материалам (например, резине), сохраняющим в процессе деформации свой объём при значительном изменении формы. Нижний предел соответствует материалам с относительно высокой сдвиговой жёсткостью, образец которых при деформировании сохраняет геометрические пропорции, но изменяет объём.

Такие материалы, имеющие  $\nu < 0$ , называют ауксетичными, или ауксетиками (от греч. αὐξητικός – разбухающий).

Ауксетики активно исследуются на протяжении нескольких десятилетий. Они встречаются в природе (грунты, пористые песчаники, цеолиты, древесина, кровеносные сосуды, трубчатые кости) и могут быть получены различными технологическими методами [4–6]. Примеры таких природных и искусственных материалов и конструкций, структурные уровни и общность механизмов реализации данного эффекта достаточно подробно описаны в [4, 6–8]. Практический интерес к ауксетикам обусловлен возможностью создания изделий, отличающихся особыми характеристиками.

Целью данной работы является анализ преимуществ ауксетичных материалов при использовании в конструкциях ЭКД, размещённого в космическом пространстве на экваториальной земной орбите [1].

## Деформирование ауксетиков при индентировании

Первыми искусственными ауксетиками считаются пеноматериалы. Они демонстрируют эластичность и при этом высокое сопротивление сдвигу, высокую вязкость разрушения и поглощение вибрации, а также относительно низкую стоимость и простоту формирования. Термопластичные открытопористые ауксетичные пенополиуретаны (ППУ) получают в результате термомеханического процесса. При трёхосном сжатии таких материалов образуется структура с вогнутыми ячейками [9–12]; термическая обработка (нагрев и охлаждение) позволяет её зафиксировать.

Индентирование ауксетичного ППУ [13, 14], сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) [15] и губчатой меди [16, 17] показало рост предела текучести по сравнению с неауксетичными аналогами при одинаковой пористости и кажущейся плотности (рисунок 2).

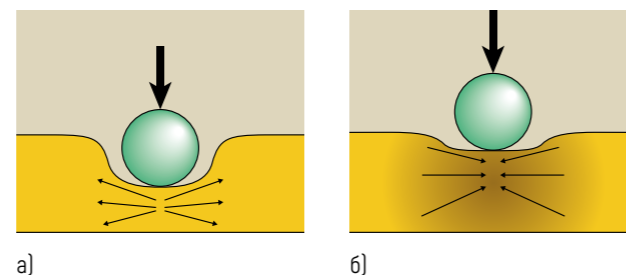


Рисунок 2 – Поведение при индентировании:  
а – обычный материал; б – ауксетик [14]

Для СВМПЭ с  $\nu = -0,8$  при нагрузке до 100 Н энергия сопротивления вдавливанию до восьми раз превышает данный показатель обычного пористого СВМПЭ с  $\nu \approx 0$  [15], что способствует применению ауксетиков в качестве заполнителя сэндвич-панелей, испытывающих статические [13] и динамические [18, 19] нагрузки.

Повышение сопротивления индентированию позволяет увеличить эффективность защитного снаряжения, ограничивая травмирующее воздействие сосредоточенных нагрузок. Более низкий объёмный модуль вызывает рост объёмной деформации [20] и поглощение энергии при одноосном сжатии [21].

## Эффект самоупрочнения

В [22–24] показано, что при стеснённом деформировании с трением реализуется самостопорение упругого элемента из ауксетика, который при действии вытягивающей нагрузки  $T$  плотнее прилегает к детали, увеличивая несущую способность (рисунок 3). Это делает ауксетичные материалы предпочтительными для использования в крепёжных изделиях и фрикционных соединениях в качестве «адаптивных» фиксаторов.

## Поведение ауксетиков при вибрации

Исследования динамического поведения ауксетика на основе ППУ показали увеличение коэффициента потерь и, значит, преимущество материала в поглощении энергии. На рисунке 4 сопоставлены коэффициенты пропускания вибрации  $K_{\text{вибр}}$  (амплитуда  $1,5 \times 10^{-4}$  м) пластин размером  $10 \times 380 \times 120$  мм из ауксетичного и обычного ППУ. При этом необходимо учитывать два важных момента.

Первый связан с более высокой резонансной частотой пластины, выполненной из ауксетичного ППУ (83 Гц), по сравнению с исходным ППУ (69 Гц). Второй, более важный, связан с сильным снижением пиковой передачи вибрации. На частотах ниже 10 Гц у обоих материалов наблюдалось преобладание фактора жёсткости и коэффициент пропускания вибрации был равен 1. В диапазоне частот 49–150 Гц величина  $K_{\text{вибр}}$  для обычного ППУ из-за большой деформации, вызванной резонансом, начинается со значения 2. Ауксетичный ППУ, напротив, по-прежнему демонстрирует поведение с преобладанием жёсткости, даже относительно близкое к резонансу [20].

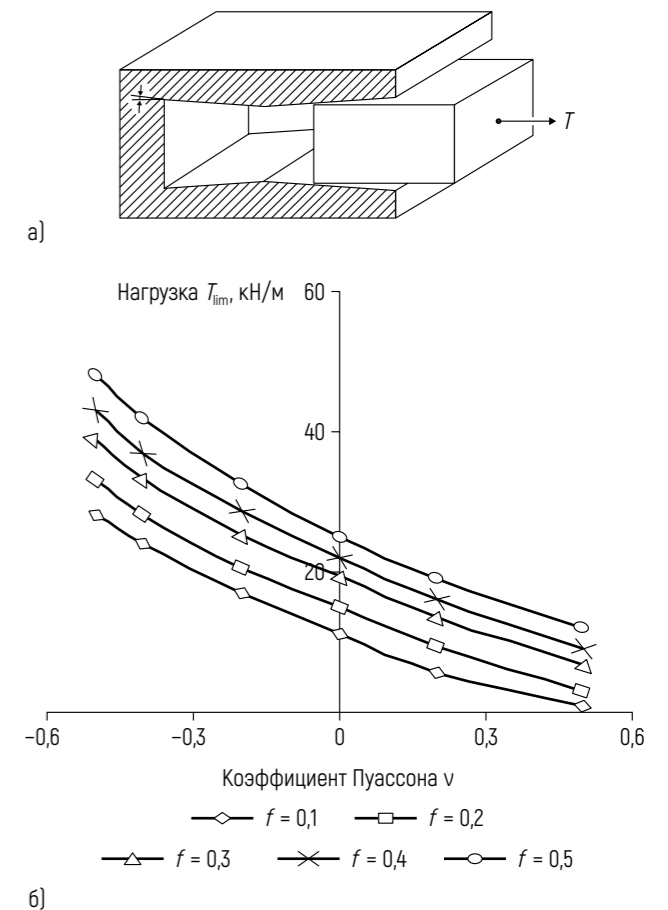


Рисунок 3 – Фрикционное поведение ауксетиков:  
а – конструкция фрикционного соединения;  
б – зависимость предельной сдвигающей нагрузки от коэффициента Пуассона  $\nu$  при различных коэффициентах трения

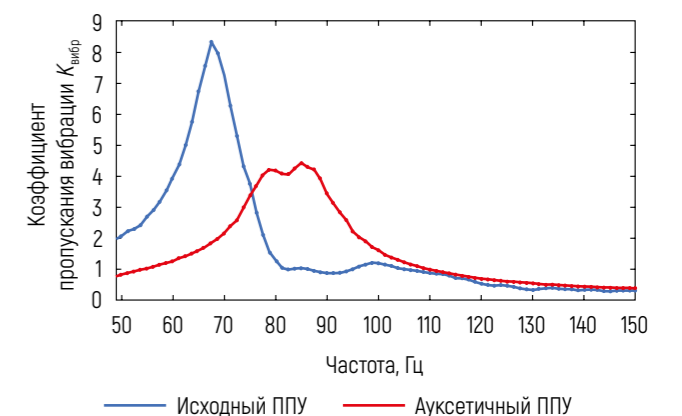


Рисунок 4 – Коэффициенты пропускания вибрации  $K_{\text{вибр}}$  исходного и ауксетичного ППУ при малых амплитудах возбуждения [20]



При увеличении частоты вибрации до 110–150 Гц значения  $K_{\text{вibr}}$  у обычного и ауксетичного ППУ практически не отличаются.

### Распространение волн

Как известно, акустические свойства материала определяются отношением скоростей распространения продольных  $v_l$  и поперечных  $v_t$  волн, зависящим от коэффициента Пуассона [25]:

$$v_l/v_t = \sqrt{(1-2\nu)/2(1-\nu)}. \quad (2)$$

Если для обычных изотропных материалов отношение  $v_l/v_t$  не превышает  $1/\sqrt{2}$ , то согласно уравнению (2) для ауксетиков оно достигает  $\sqrt{3}/2$  [26, 27]. Этим объясняется тот факт, что в ауксетичных пороматериалах коэффициент звукопоглощения и модуль потерь значительно выше по сравнению с обычными пенопластами при одинаковых значениях пористости и плотности [26–29]. Так, для ауксетичного СВМПЭ коэффициент поглощения ультразвука достигал 47 дБ/см, что в 1,5 раза выше, чем для обычного вспененного полиэтилена [27].

На рисунке 5 продемонстрированы результаты моделирования для звукопоглощения образцов ауксетичного (сплошная линия) и исходного (пунктир) ППУ толщиной 26 мм. Серая область представляет дисперсию между результатами измерений для двух сторон образцов.

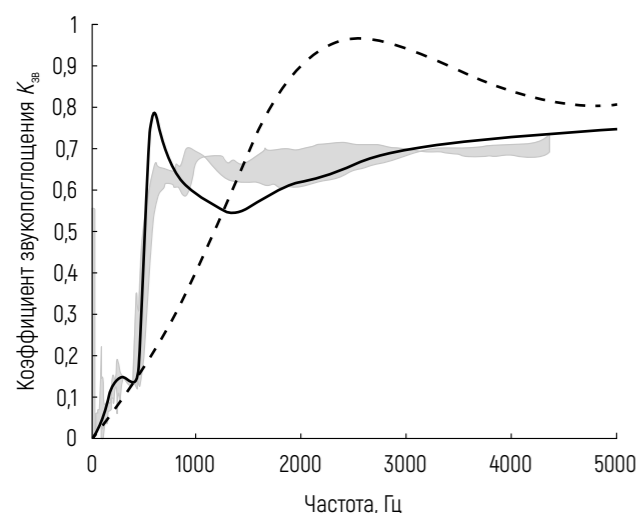


Рисунок 5 – Коэффициенты звукопоглощения  $K_{\text{зв}}$  образцов толщиной 26 мм [31]

Низкий уровень дисперсии свидетельствует об однородности ауксетичного пороматериала в объёме. Из сравнения показателей поглощения обычных и ауксетичных ППУ можно увидеть, что при формировании пористой структуры с вогнутой формой ячеек значительно изменяются акустические свойства материала. Ауксетичный пороматериал имеет более высокие поглощающие свойства в низкочастотном диапазоне до 1500 Гц. Его коэффициент звукопоглощения  $K_{\text{зв}}$  достигает 0,6 при 500 Гц [30]. При более высоких частотах  $K_{\text{зв}}$  ауксетика выходит на плато, не превышая 0,7, по сравнению с максимальным (почти 100 %) поглощением обычного ППУ при частоте около 2500 Гц, причём уровень поглощения ауксетичного ППУ в образцах толщиной 26, 35 и 39 мм остаётся почти постоянным в диапазоне частот 1000–4500 Гц. По данным [31], повышается сопротивление воздушному потоку ауксетиков по сравнению с образцами исходного ППУ, из которых они были произведены (194 300 Н·с/м<sup>4</sup> и 12 500 Н·с/м<sup>4</sup> соответственно).

### Поведение ауксетиков при высокоскоростном импульсном воздействии

Для оценки эффективности использования ауксетиков при высокоскоростных нагрузках проведены эксперименты [32–34] по изучению импульсного воздействия стального шарика диаметром 5 мм на изогнутую сэндвич-панель из углепластика размером 150 × 150 мм, толщиной 1,05 мм, радиусом кривизны 200 мм и толщиной промежуточного слоя 30 мм (рисунк 6).

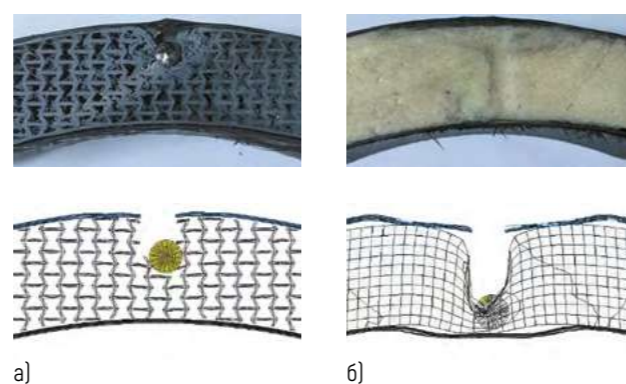


Рисунок 6 – Эксперимент и конечно-элементное моделирование. Импульсное воздействие на сэндвич-панель с наполнителем: а – ауксетичный сотоводобный материал из ПЛА-пластика; б – обычный ППУ [32]

При помощи 3D-печати из ПЛА-пластика изготовлен сотоводобный наполнитель с ячейками вогнутой формы (рисунк 7) размером  $h = 6$  мм,  $t = 0,7$  мм,  $l = 3,9$  мм и  $\theta = 30^\circ$ .

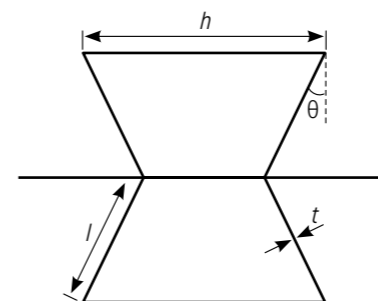


Рисунок 7 – Элементарная ячейка сотоводобной конструкции с отрицательным коэффициентом Пуассона

Результаты эксперимента показывают, что при использовании ауксетика глубина проникновения индентора уменьшается от 1,5 до 1,7 раза (таблица) по сравнению с ППУ, имеющим обычные (выпуклые) ячейки [32, 33].

### Возможность снижения термических напряжений

Значительный практический интерес представляет снижение термических напряжений, возникающих в результате нагрева композитных систем, компоненты которых изготовлены из материалов с различным коэффициентом термического расширения (КТР). Для ЭКД это актуально в связи с существенным суточным изменением температур (термоциклированием). В [2, 35] рассмотрена возможность получения материалов с отрицательным и нулевым КТР

путём введения в известные материалы ауксетичной фазы, т. е. выдвигается гипотеза о возможности компенсации термических перемещений посредством использования эффекта Пуассона в области отрицательных значений  $\nu$ .

Для поиска структуры такого материала применено конечно-элементное моделирование термических деформаций. Построенные модели охватывали несколько основных типов структуры: слоистую, пористую, композит с включениями (рисунк 8). В проведённых тестах задавался КТР  $\alpha = 10^{-5}$ . Расчёт термических деформаций производился в предположении плоскодеформированного состояния. В качестве выходных параметров использовали перемещения по оси X и Y; в качестве представительного объёма – фрагмент из 5 × 5 ячеек.

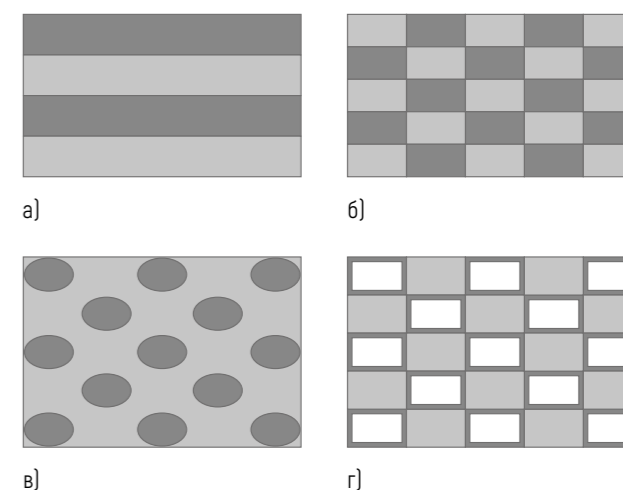


Рисунок 8 – Структуры с ауксетичными компонентами, обладающие нулевым КТР: а – слоистая система; б – шахматная система; в – матричная система с дисковым наполнителем; г – пористая система

Таблица – Параметры индентирования сэндвич-панели с обычным и ауксетичным наполнителями при различных скоростях воздействия [32]

Заполнитель	Скорость воздействия, м/с	Глубина внедрения, мм
Ауксетичный сотоводобный ПЛА-пластик	101,2	16,06
	100,8	16,12
	99,3	15,90
Обычный ППУ	100,9	23,15
	102,5	27,93
	101,9	36,35

Анализ теплового линейного расширения для слоистой системы показал, что ауксетичная фаза с  $\nu = -0,5$  позволяет ослабить перемещения  $u_x$  в 1,22 раза,  $u_y$  в 1,44 раза по сравнению с фазой, имеющей  $\nu = 0,48$  (практически несжимаемый материал типа резины). Более заметный эффект даёт чередование слоёв (снижение  $u_x$  и  $u_y$  в 1,9 и 1,36 раза соответственно). Самый существенный эффект минимизации КТР достигнут в случае ауксетичной фазы с теоретически допустимым минимальным значением  $\nu = -1$  [3,62 и 5,6]. Эти расчёты проведены для однородного (по модулю Юнга) материала, состоящего из ячеек квадратной формы с чередованием ауксетичного и неауксетичного компонентов. В частности, для  $\nu = -0,5$  снижение КТР составило 1,22 и 1,28 соответственно. При варьировании коэффициента Пуассона в интервале допустимых значений 0,5... -1 установлено, что близкие к нулю термические перемещения достигаются при  $\nu = -1$ .

Композитные материалы с ауксетичной фазой в виде дисков демонстрируют снижение КТР в 1,34 и 1,41 раза; матрицы – в 1,81 и 2,45 раза соответственно. Сопоставление характеристик теплового расширения различных материалов (слоистых, однородных, с наполнителем) показало, что наиболее заметная минимизация КТР наблюдается при использовании однородной ауксетичной структуры, в особенности при минимальном значении коэффициента Пуассона  $\nu = -1$ . Влияние структуры сглаживается при увеличении  $\nu$  и становится несущественным при  $\nu > 0,3$ .

## Выводы и дальнейшие направления исследования

На основании анализа опубликованных экспериментальных исследований ауксетиков можно заключить, что комбинации некоторых из их свойств указывают на значительный потенциал использования данных материалов в аэрокосмической промышленности в качестве наполнителя сэндвич-панелей и амортизирующего материала с улучшенными характеристиками [36, 37].

Ауксетики могут применяться в ЭКД:

- в качестве звукопоглощающего компонента внутренней оболочки в диапазоне 150–2000 Гц (коэффициент звукопоглощения ауксетичного ППУ в этом частотном диапазоне в 2–3 раза выше по сравнению с обычным ППУ), что уже практикуется корпорацией Rolls-Royce [38];

- в качестве демпфера для защиты от вибраций при частотах 60–100 Гц;

- при изготовлении фрикционных соединений несущих элементов;

- для защиты ЭКД от метеоритного воздействия.

Ранее инженером А.Э. Юницким [36] разработана конструкция из пяти отсеков, где сразу за наружной обшивкой расположены пластиковые демпферы (рисунок 9), представляющие собой сотоподобную структуру, заполняющую весь отсек. Использование ауксетичного материала в качестве демпфера позволит снизить ущерб, наносимый метеоритами и космическим мусором.

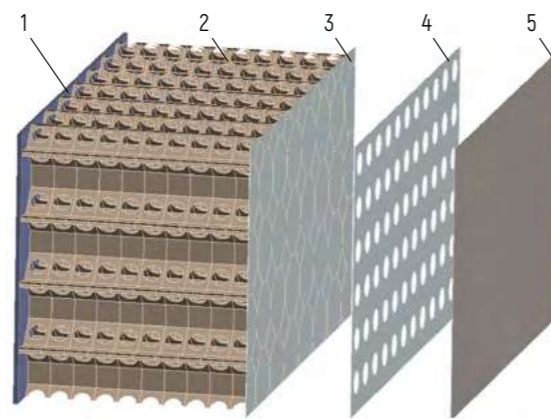


Рисунок 9 – Перспективный вид конструкции оболочки ЭКД:

- 1 – наружная обшивка;
- 2 – пластиковые демпферы в виде интерференционных тоннелей;
- 3 – вакуумный изолятор;
- 4 – интерференционная решётка;
- 5 – поверхность грунта [36]

Кроме того, для предотвращения урона общепланетарному транспортному средству (ОТС) и ЭКД от космического мусора размером 10 мм и более в защитных экранах предлагалось задействовать сэндвич-панели со слоями из пеноалюминия и тканых материалов [37]. Известны ауксетичные тканые материалы и композиты на их основе [39], также возможно получить ауксетичный перфорированный алюминий и пеноалюминий [40]. Совместное использование ауксетичного алюминия и тканых композитов усилит защиту и сократит расход материалов по сравнению с обычными.

Свойства ауксетиков могут в ближайшем будущем открыть перспективы для их применения в изготовлении перевязочных материалов, пропорционально распределяющих лекарства при увеличении размера ран [41], что также можно будет использовать в ЭКД для оказания медицинской помощи в случае травмирования людей.

## 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. Шилько, С.В. Аномально упругие материалы как компоненты адаптивных систем / С.В. Шилько // Перспективные материалы. – Витебск: ВГТУ, 2009. – Гл. 15. – С. 419–448.
3. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика: в 10 т. / Л.Д. Ландау, Е.М. Лившиц. – М.: Наука, 1965. – Т. 7: Теория упругости. – 204 с.
4. Материалы с отрицательным коэффициентом Пуассона (обзор) / Д.А. Конёк [и др.] // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2004. – Т. 10, № 1. – С. 35–69.
5. Ji, S. Seismic Velocities, Poisson's Ratios and Potential Auxetic Behavior of Volcanic Rocks / S. Ji, Q. Wang, L. Li // Tectonophysics. – 2019. – Vol. 766, No. 4. – P. 270–282.
6. Manufacturing, Characteristics and Applications of Auxetic Foams: A State-of-the-Art Review / W. Jiang [et al.] // Composites: Part B: Engineering. – 2022. – Vol. 235. – P. 109733.
7. Auxetic Metamaterials and Structures: A Review / X. Ren [et al.] // Smart Materials and Structures. – 2018. – Vol. 27, No. 2. – P. 023001.
8. A Review of the Manufacture, Mechanical Properties and Potential Applications of Auxetic Foams / R. Critchley [et al.] // Physica Status Solidi (B). – 2013. – Vol. 250, No. 10. – P. 1963–1982.
9. Polyhedron Cell Structure and Method of Making Same: pat. US 4668557 A / R.S. Lakes. – Publ. 26.05.1987.
10. Способ получения пористого материала с отрицательным коэффициентом Пуассона и устройство для его осуществления: пат. ВУ 6242 С1 / С.В. Шилько, Н.Н. Бодрунов, Д.А. Конёк. – Опубл. 30.06.2004.
11. Effects of Geometrical and Processing Parameters on Mechanical Properties of Auxetic Polyurethane Foams / N.H.Z. Abedini [et al.] // SN Applied Sciences. – 2022. – Vol. 4, No. 6. – P. 162.
12. Effects of Heat Exposure and Volumetric Compression on Poisson's Ratios, Young's Moduli, and Polymeric Composition During Thermo-Mechanical Conversion of Auxetic Open Cell Polyurethane Foam / O. Duncan [et al.] // Physica Status Solidi (B). – 2019. – Vol. 256, No. 1. – P. 1800393.
13. Chan, N. Indentation Resilience of Conventional and Auxetic Foams / N. Chan, K.E. Evans // Journal of Cellular Plastics. – 1998. – Vol. 34. – P. 231–260.
14. Strain Densification During Indentation in Auxetic Foams / C.W. Smith [et al.] // Cellular Polymers. – 1999. – Vol. 18, No. 2. – P. 79–101.
15. Alderson, K.L. The Strain Dependent Indentation Resilience of Auxetic Microporous Polyethylene / K.L. Alderson, A.F. Fitzgerald, K.E. Evans // Journal of Material Science. – 2000. – Vol. 35, No. 16. – P. 4039–4047.
16. Lakes, R.S. Indentability of Conventional and Negative Poisson's Ratio Foams / R.S. Lakes, K.J. Elms // Journal of Composite Materials. – 1993. – Vol. 27, iss. 12. – P. 1193–1202.
17. Argatov, I.I. On Local Indentation and Impact Compliance of Isotropic Auxetic Materials from the Continuum Mechanics Viewpoint / I.I. Argatov, R. Guinovart-Díaz, F.J. Sabina // International Journal of Engineering Science. – 2012. – Vol. 54. – P. 42–57.
18. Roach, A.M. The Penetration Energy of Sandwich Panel Elements Under Static and Dynamic Loading. Part 1 / A.M. Roach, K.E. Evans, N. Jones // Composite Structures. – 1998. – Vol. 42, iss. 2. – P. 119–134.
19. Wave Propagation in Sandwich Plates with Periodic Auxetic Core / M. Ruzzene [et al.] // Journal of Intelligent Material Systems and Structures. – 2002. – Vol. 13, No. 9. – P. 587–597.
20. Bianchi, M. Vibration Transmissibility and Damping Behaviour for Auxetic and Conventional Foams Under Linear and Nonlinear Regimes / M. Bianchi, F. Scarpa // Smart Materials and Structures. – 2013. – Vol. 22, No. 8. – P. 084010.
21. The Dynamic Response of Shallow Sandwich Arch with Auxetic Metallic Honeycomb Core Under Localized Impulsive Loading / Y. Li [et al.] // International Journal of Impact Engineering. – 2020. – Vol. 137, No. 5. – P. 103442.
22. Шилько, С.В. Трение аномально упругих тел. Отрицательный коэффициент Пуассона. Ч. 1: Реализация эффекта самостопорения / С.В. Шилько // Трение и износ. – 1995. – Т. 16, № 3. – С. 429–437.
23. Шилько, С.В. Трение аномально упругих тел. Отрицательный коэффициент Пуассона. Ч. 2: Расчёт параметров самостопорения / С.В. Шилько, А.И. Столяров // Трение и износ. – 1996. – Т. 17, № 4. – С. 448–455.
24. Шилько, С.В. Анализ контактного деформирования ауксетичных композитных материалов / С.В. Шилько, Е.М. Петроковец, Ю.М. Плещачевский // Механика композитных материалов. – 2006. – Т. 42, № 5. – С. 681–692.

25. Lippset, A.W. Reexamination of Dynamic Problems of Elasticity for Negative Poisson's Ratio / A.W. Lippset, A.I. Beltzer // *Journal of the Acoustical Society of America*. – 1988. – Vol. 84, No. 6. – P. 2179–2186.
26. Howell, B. Examination of Acoustic Behavior of Negative Poisson's Ratio Materials / B. Howell, P. Prendergast, L. Hansen // *Applied Acoustics*. – 1994. – Vol. 43, No. 2. – P. 141–148.
27. An Experimental Study of Ultrasonic Attenuation in Microporous Polyethylene / K.L. Alderson [et al.] // *Applied Acoustics*. – 1997. – Vol. 50, No. 1. – P. 23–33.
28. Chen, C.P. Dynamic Wave Dispersion and Loss Properties of Conventional and Negative Poisson's Ratio Polymeric Cellular Materials / C.P. Chen, R.S. Lakes // *Cellular Polymers*. – 1989. – Vol. 8, No. 5. – P. 343–359.
29. Chen, C.P. Micromechanical Analysis of Dynamic Behavior of Conventional and Negative Poisson's Ratio Foams / C.P. Chen, R.S. Lakes // *Journal of Engineering Materials and Technology*. – 1996. – Vol. 118, No. 3. – P. 285–288.
30. Shear Stiffness and Energy Absorption of Auxetic Open Cell Foams as Sandwich Cores / H.C. Cheng [et al.] // *Physica Status Solidi (B)*. – 2019. – Vol. 256, No. 1. – P. 1800411.
31. Vibro-Acoustic Properties of Auxetic Open Cell Foam: Model and Experimental Results / I. Chekkal [et al.] // *Acta Acustica United with Acustica*. – 2010. – Vol. 96. – P. 266–274.
32. Usta, F. High-Velocity Impact Resistance of Doubly Curved Sandwich Panels with Re-Entrant Honeycomb and Foam Core / F. Usta, H.S. Turkmen, F. Scarpa // *International Journal of Impact Engineering*. – 2022. – Vol. 165. – P. 104230.
33. Impact Properties of Uniaxially Thermoformed Auxetic Foams / Q. Zhang [et al.] // *International Journal of Impact Engineering*. – 2022. – Vol. 163. – P. 104176.
34. A Review on the Energy Absorption Response and Structural Applications of Auxetic Structures [Electronic resource] / M.B. Francisco [et al.] // *Mechanics of Advanced Materials and Structures*. – 2021. – Mode of access: [https://www.researchgate.net/publication/355206997\\_A\\_review\\_on\\_the\\_energy\\_absorption\\_response\\_and\\_structural\\_applications\\_of\\_auxetic\\_structures](https://www.researchgate.net/publication/355206997_A_review_on_the_energy_absorption_response_and_structural_applications_of_auxetic_structures). – Date of access: 12.10.2021.
35. Shil'ko, S.V. Structural Design and Tailoring of Composites to Obtain Near Zero Coefficient of Linear Thermal Expansion / S.V. Shil'ko, E.M. Petrokovets, Q. Zhang // *Механика машин, механизмов и материалов*. – 2019. – № 4 [49]. – С. 55–60.
36. Юницкий, А.Э. Метеоритная защита инфраструктуры ближнего космоса на примере ЭкоКосмоДома / А.Э. Юницкий, Р.А. Шаршов, С.А. Жарый // *Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы IV междунар. науч.-техн. конф., Марьяна Горка, 18 сент. 2021 г.* / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2022. – С. 213–225.
37. Юницкий, А.Э. Защита общепланетарного транспортного средства от метеороидов и космического мусора / А.Э. Юницкий, С.А. Пронкевич, В.А. Овсянко // *Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы IV междунар. науч.-техн. конф., Марьяна Горка, 18 сент. 2021 г.* / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2022. – С. 205–211.
38. Низкопористый ауксетический листовый материал: пат. RU 2664895 С2 / К. Бертольди, М. Тэйлор, А. Шаниан, М. Герендас, К. Карсон. – Опубл. 23.08.2018.
39. Rant, D. Auxetic Textiles / D. Rant, T. Rijavec, A. Pavko-Čuden // *Acta Chimica Slovenica*. – 2013. – Vol. 60, No. 4. – P. 715–723.
40. Auxetic Aluminum Sheets in Lightweight Structures / W. Ripplinger [et al.] // *Materials Testing*. – 2018. – Vol. 60, No. 11. – P. 1071–1076.
41. Буланов, А.В. Использование ауксетиков для проектирования стентов коронарных сосудов / А.В. Буланов, О.А. Блудова // *Политехнический молодежный журнал*. – 2017. – № 10 [15]. – С. 1–11.



# Моделирование левитации в электромагнитном поле

Попко С.С.

ЗАО «Струнные технологии»,  
г. Минск, Беларусь



Проведён анализ методов математического моделирования электромагнитной левитации, которые могут быть использованы для прогнозирования движения транспортных средств на электромагнитной подвеске, а также для подвешивания и центрирования линейного ротора общепланетарного транспортного средства (ОТС). Основное преимущество рассматриваемого способа подъёма объектов – отсутствие трения и износа между неподвижной и подвижной поверхностями. Автором моделируется динамика электромагнитной левитации, сравниваются полученные результаты с натурным экспериментом, который осуществлён исследователями ранее.

***Ключевые слова:** конечно-элементное моделирование, магнитная левитация, метод граничных элементов (МГЭ), метод конечных элементов (МКЭ), LS-DYNA.*

УДК 53.098



## Введение

Исследования в области магнитного взаимодействия открывают широкий спектр возможностей для успешного применения методов магнитной левитации в промышленности: при изготовлении высокоскоростных подшипников, предназначенных для снижения шума и устранения трения; при создании высокоскоростного наземного транспорта и др. Кроме того, электродинамическая магнитная левитация может быть задействована в космической транспортной системе, в частности в общепланетарном транспортном средстве (ОТС), где требуются подвешивание и стабилизация ротора в вакуумной трубе длиной около 40 000 км для исключения какого-либо контакта с ней [1].

ОТС – разработанный инженером А.Э. Юницким геокосмический транспорт многоразового использования, позволяющий осваивать ближний космос без применения ракет. Он представляет собой стабилизированный летательный аппарат самонесущей конструкции, имеющий форму тора, вдоль которого распределена полезная нагрузка – пассажиры и грузы, помещённые в специальные модули. В основу функционирования ОТС заложены принципы, опирающиеся на законы физики: маховики внутри корпуса разгоняются до скорости выше первой космической над уровнем моря, и аппарат за счёт внутренней центробежной силы, увеличиваясь в диаметре (растягиваясь), взлетает вместе с грузом [2].

Таким образом, цель данного исследования – разработка методики моделирования левитации в электромагнитном поле.

## Анализ условий электромагнитной левитации

В настоящее время находят применение следующие электромагнитные методы поддержки движущихся или вращающихся масс [3]:

- отталкивание между магнитами фиксированной силы и ферромагнитными материалами;
- левитация с использованием сил отталкивания и диамагнетиков;
- левитация с применением сверхпроводящих магнитов;
- левитация за счёт сил отталкивания, образуемых вихревыми токами, которые индуцированы в проводящей поверхности;
- левитация с использованием силы, действующей на линейный проводник с током;

- подвешивание с применением настроенной цепи RLC и электростатической силы притяжения;
- подвешивание с использованием настроенной цепи RLC и магнитной силы притяжения;
- подвешивание посредством управляемых электромагнитов постоянного тока и силы притяжения магнитного поля;
- смешанная система левитации.

Из вышеперечисленных методов одни используют силы отталкивания, другие – силы притяжения. Первые можно назвать левитацией, вторые – техникой подвешивания [3]. Современные способы моделирования взаимодействия тел в магнитном поле позволяют значительно сократить время на оценку таких процессов, что делает применение вычислительных машин актуальным в рассматриваемых условиях.

Явление электродинамической магнитной левитации возникает, когда вращающийся и/или движущийся постоянный магнит либо катушка с током создают переменное магнитное поле вблизи проводника. Согласно закону индукции Ампера, в движущейся металлической поверхности индуцируется электрическое поле, которое вызывает протекание вихревых токов по замкнутому контуру у поверхности проводника. Вихревые токи, в свою очередь, образуют собственное магнитное поле; его полярность в соответствии с законом Ленца противоположна полярности поля магнита. Следовательно, он отталкивается от движущейся поверхности металла, противодействуя силе тяжести. Если магнит подтолкнуть к движущейся металлической поверхности, наведённые токи и результирующая сила отталкивания увеличиваются, автоматически восстанавливая положение равновесия. И наоборот, если магнит перемещается вверх, левитирующая сила уменьшается. Значит, система внутренне устойчива.

Необходимо учитывать, что магнит должен удерживаться на месте, поскольку индуцированные вихревые токи также вызывают силу электромагнитного сопротивления, которая стремится тянуть магнит в продольном направлении вместе с движущимся металлическим листом. На практике стабильность подвешенного объекта усложняется тем, что любое отклонение от положения равновесия при воздействии силы отталкивания приводит к колебанию вокруг данного положения. Колебание может уменьшаться или увеличиваться со временем в зависимости от того, является чистой демпфирующая сила положительной или отрицательной соответственно. Для обеспечения чистого положительного демпфирования и стабильной подвески могут использоваться как активные, так и пассивные механизмы.

В случае силы притяжения упомянутая выше система обратной связи создаёт эффективную положительную демпфирующую силу, которая ослабляет гармонические колебания. В предпочтительной конфигурации для большинства систем электродинамической подвески магниты размещаются на борту, а электрические проводники – на направляющей (рисунок 1) [4].

В соответствии с [3] для устойчивого равновесия необходимы такие условия, в которых все силы будут скомпенсированы. Однако согласно теоремам Ирншоу [5] и Лагранжа – Дерихле [6] достичь этого нереально. Для стабильного положения тела в магнитной системе нужно создать магнитную яму, где потенциальная энергия имеет локальный минимум.

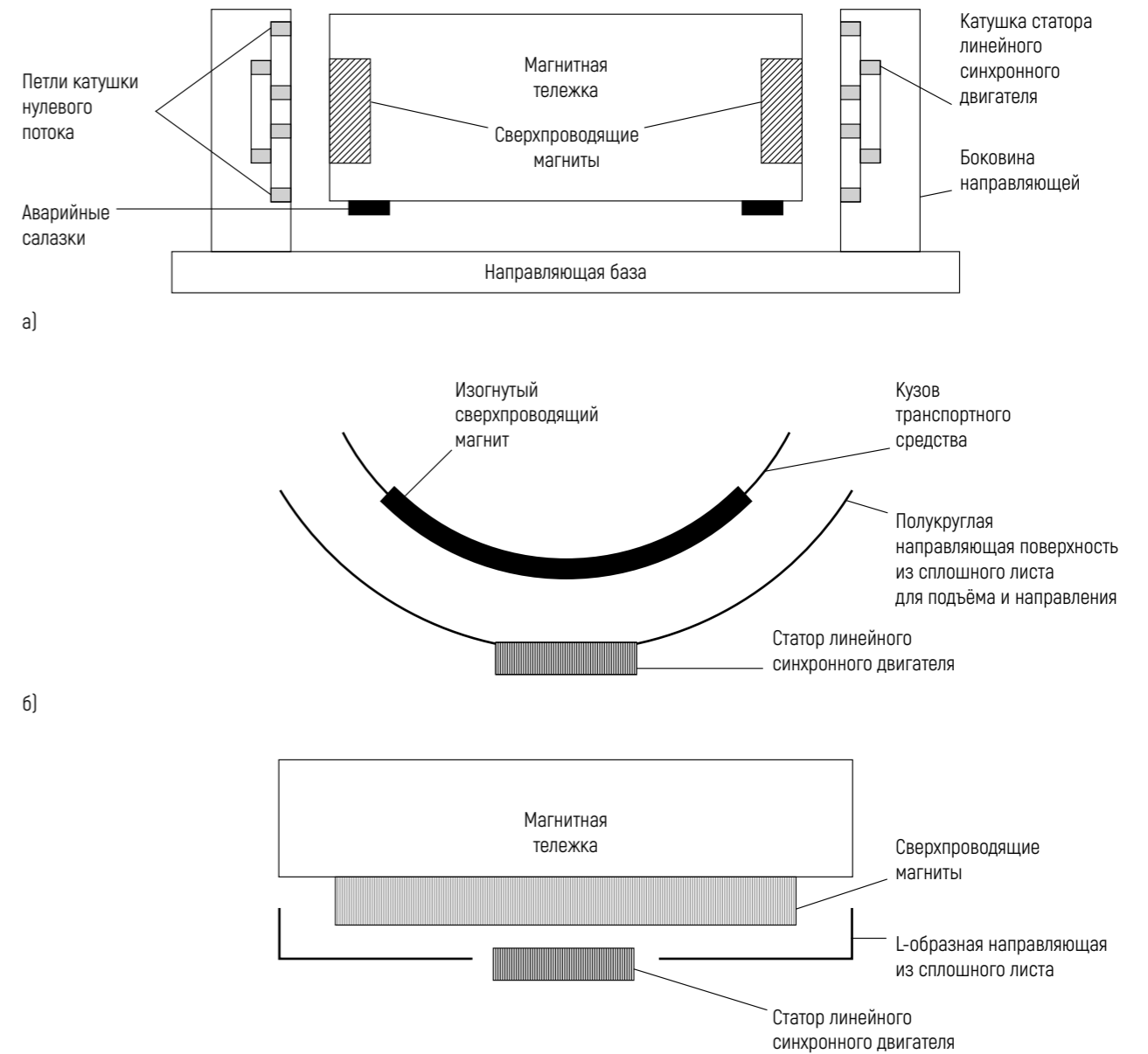


Рисунок 1 – Системы электродинамической подвески с использованием сверхпроводящих магнитов: а – с воздушным сердечником в U-образной направляющей; б – с полукруглой направляющей из сплошного листа; в – с L-образной направляющей из сплошного листа

Требуемым условием для левитации в этом смысле становится наличие силы, компенсирующей силу тяжести, и возвращающей силы, обеспечивающей устойчивость объекта.

Согласно теореме Ирншоу, являющейся прямым следствием закона Гаусса, левитация статических объектов в статическом электромагнитном поле невозможна. Данная теорема применима не только к точечным зарядам, но и к протяжённым упругим телам, из чего следует, что их свободный подвес в электростатическом, магнитостатическом и гравитационном поле всегда будет неустойчив.

На практике обозначенная проблема решается путём стабилизации не только в вертикальной, но и в горизонтальной плоскостях, обычно посредством организации обратной связи в электромагнитной системе [3]. Пример схемы системы с обратной связью показан на рисунке 2.

Датчики отслеживают положение тела в пространстве, и при его отклонении от желаемой точки равновесия параметры электромагнитной составляющей системы автоматически изменяются, возвращая тело в заданную точку. Такой подход не противоречит теореме Ирншоу, поскольку в данном случае система не статическая.

### Обзор моделирования электромагнитной левитации

Магнитная левитация – один из типов систем, характеризующихся разнообразной областью применения [7–10]. Её моделирование относится к сложным задачам, поскольку помимо нелинейностей приходится иметь дело

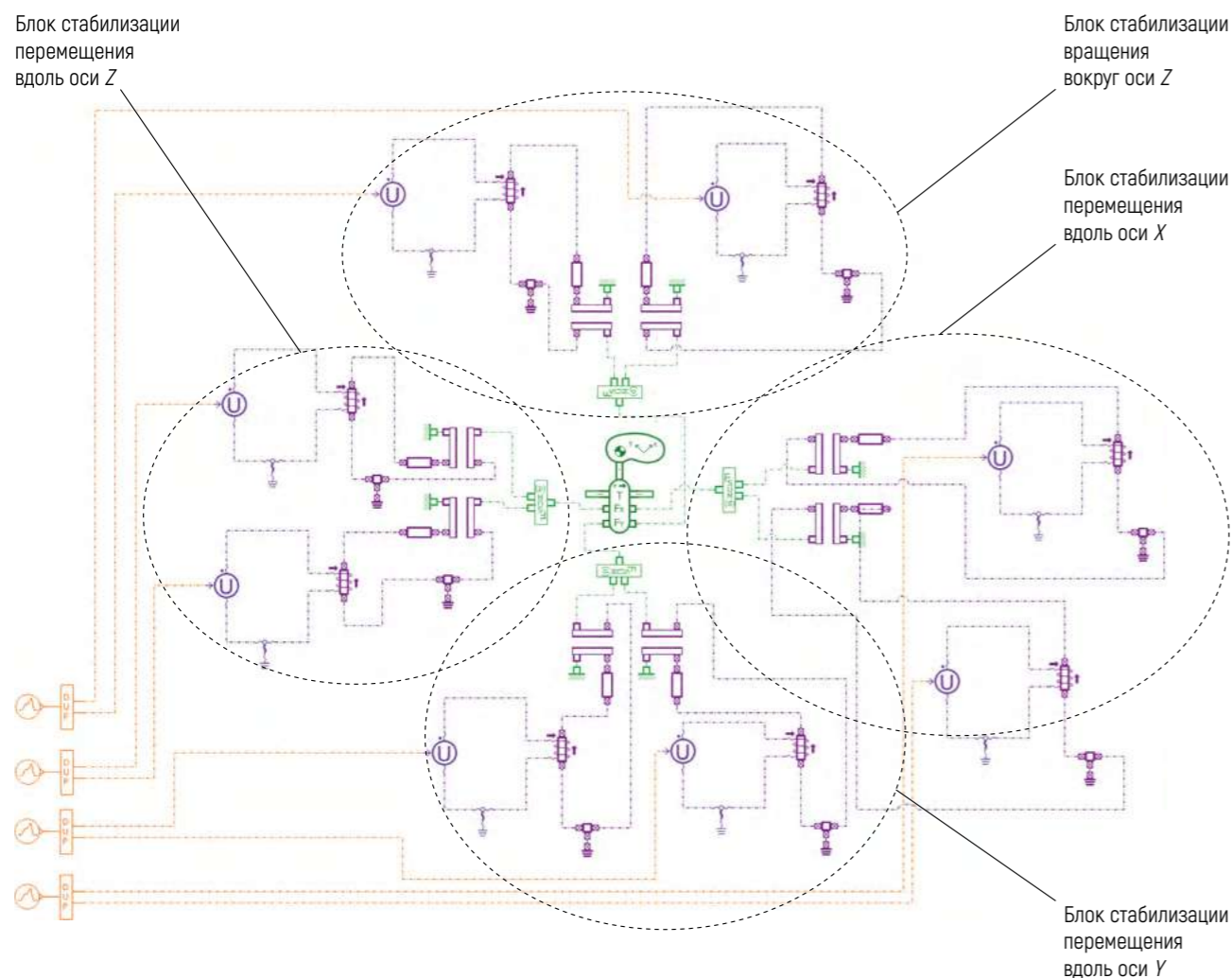


Рисунок 2 – Схема электромагнитной системы с обратной связью

с разомкнутой неустойчивой системой с быстрой динамикой и очень малой степенью естественного демпфирования. Первостепенная цель управления – точное позиционирование левитирующего объекта, что требует достаточно точной модели.

В основе моделирования электромагнитного взаимодействия лежат уравнения Максвелла [11]. Они являются дифференциальными уравнениями в частных производных, поэтому их решение во многом определяется начальными и граничными условиями. Для гармонических во времени процессов единственность решения задачи без начальных условий обеспечивается сколь угодно малым поглощением энергии внутри объёма  $V$  или её утечкой через поверхность  $S$ , что исключает собственные колебания на действительных резонансных частотах.

Использование численных методов расширяет возможности для решения уравнений Максвелла и в целом позволяет смоделировать поведение системы с электромагнитным взаимодействием. Главными методами выступают проекционные, в которых решение проецируется на какой-либо удобный функциональный базис, и дискретизационные, где область пространства разбивается на множество малых конечных областей.

В проекционном методе Бубнова – Галёркина [12] решение граничной задачи рассматривается в виде приближённого конечного разложения по базисным функциям. После подстановки разложения в исходные уравнения с учётом требования ортогональности невязки выбранным базисным функциям получается система линейных уравнений для коэффициентов разложения.

Метод конечных разностей во временной области для нахождения временных и спектральных зависимостей [13] разработан специально для решения уравнений Максвелла, в которых изменение электрического и магнитного поля во времени зависит от изменения соответственно электрического и магнитного поля в пространстве. В рамках этого метода область пространства и временной интервал подвергаются равномерной дискретизации с заданием начальных условий. Полученные из уравнений Максвелла конечно-разностные уравнения решаются в каждый последующий момент временной сетки, пока не будет найдено решение поставленной задачи на всём требуемом временном интервале.

Для компьютерных расчётов чаще применяются более универсальные дискретизационные методы. Один из них – метод конечных элементов (МКЭ), который используется для широкого класса задач, сводящихся к уравнениям

в частных производных. В теории электромагнетизма он чаще нужен для расчёта задач электростатики, магнитостатики, распространения волн и нестационарного моделирования [14, 15]. В МКЭ область пространства, в которой ищется решение, разбивается на большое число простых дискретных элементов, обычно треугольной (в двумерном случае) или тетраэдральной формы (в трёхмерном случае). Форма и плотность элементов адаптируются к требованиям задачи. Поведение отдельных элементов рассматривается как результат линейного взаимодействия соседних узлов решётки разбиения под действием внешних сил и описывается матричными уравнениями. Расчёт сводится, таким образом, к решению разрежённых систем большого числа линейных матричных уравнений. Метод реализован во многих коммерческих и свободных программных пакетах.

Кроме того, в ряде коммерческого программного обеспечения используется связка МКЭ и метода граничных элементов (МГЭ). В данном случае МГЭ практикуется для моделирования воздушного пространства между взаимодействующими телами. Сочетание двух методов позволяет не только рассчитать электромагнитное взаимодействие, но и учесть механическое перемещение тел, а также изменение температуры (рисунок 3).

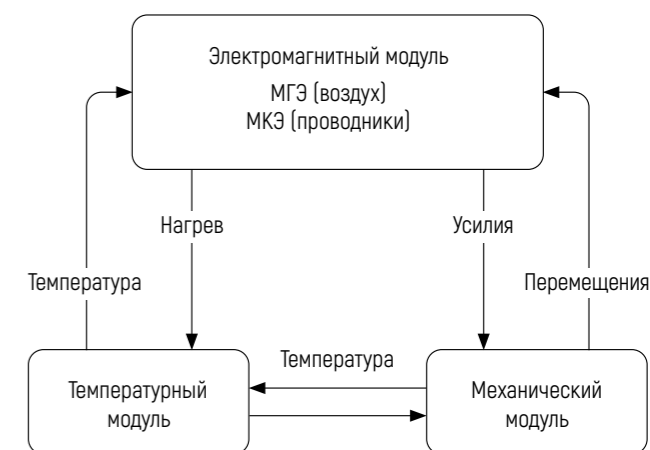


Рисунок 3 – Схема моделирования связанной задачи: взаимодействие электромагнитное – механическое – температурное

Математическая модель может быть получена из основных физических законов или с помощью методов идентификации, базирующихся на измерении входных и выходных данных для адекватно возбуждённой системы.

Часто эти подходы комбинируются, структура определяется в соответствии с теоретической моделью, а значения параметров оцениваются по измеренным показателям с использованием методов идентификации.

### Описание расчётного модуля

Расчётная модель левитации представляет собой электродинамическое левитирующее устройство, которое состоит из двух возбуждающих катушек и проводящей пластины, расположенной над ними (рисунок 4).

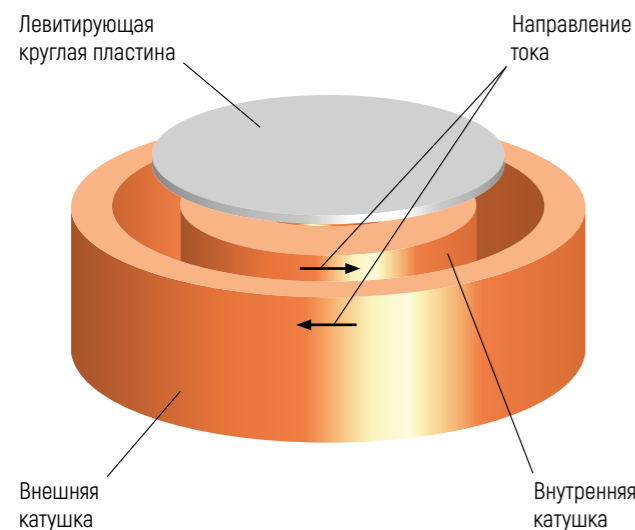


Рисунок 4 – Расчётная модель электромагнитной левитации круглой пластины

Для математической оценки модели на рисунке 5 показана расчётная схема с заданными геометрическими параметрами тел левитации.

Моделирование проводилось в программе LS-DYNA с использованием электромагнитного модуля, позволяющего решать уравнения Максвелла в вихретоковом (индукционно-диффузионном) приближении, когда распространение электромагнитных волн в воздухе (или в вакууме) можно рассматривать в качестве мгновенного явления, как в случае электромагнитного поля. Электромагнитные поля в проводниках определяются МКЭ, а моделирование окружающего воздуха/изоляторов проводится МГЭ. Таким образом, нет необходимости в создании конечно-элементной сетки для моделирования воздуха и можно легко управлять движением проводников.

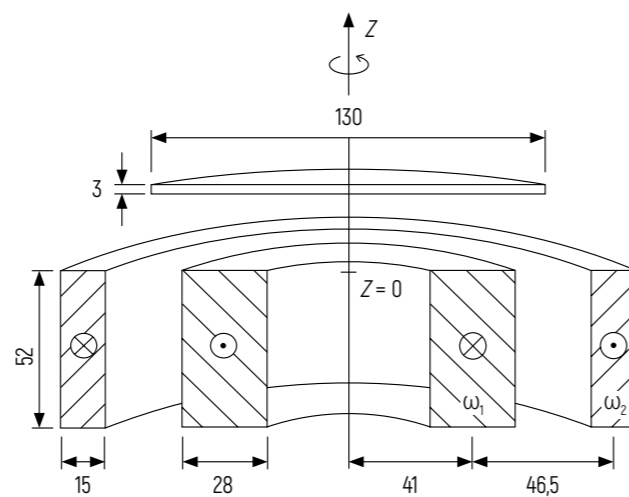


Рисунок 5 – Размеры устройства электромагнитной левитации круглой пластины, мм

Электромагнитный модуль позволяет ввести источник электрического тока в твёрдые проводники и вычислить связанные магнитное и электрическое поля, а также индуцированные токи. Данный модуль сочетается с механическим и тепловым решателями. Причём силы Лоренца добавляются в уравнения механики движения, а нагрев проводников – в тепловой решатель в виде дополнительного источника тепла.

Электромагнитный решатель может быть подключён к различным источникам тока или напряжения, и в частности к внешней цепи (RLC), где пользователь указывает сопротивление (R), индуктивность (L) и ёмкость (C) конденсаторной батареи. Электрические параметры (сопротивление, индуктивность, взаимная индуктивность) для катушки и заготовки рассчитываются одновременно при моделировании с учётом электрических свойств и геометрии катушки и деформируемой заготовки. Ввиду наличия в МГЭ полных систем электромагнитного решателя стоимость моделирования электромагнитного поля значительно выше по сравнению с обычным процессом в LS-DYNA, основанным только на МКЭ.

### Конечно-элементное моделирование

Как упоминалось ранее, электромагнитный расчётный модуль требователен к вычислительным средствам, поэтому в целях оптимизации времени, необходимого для решения задачи, построена осесимметричная модель. Для того чтобы воспроизвести тестовый случай, описанный в [16, 17],

на катушки подавался однородный ток (не рассчитывался вихревой ток и, следовательно, МГЭ-сетка). На рисунке 6 показана осесимметричная конечно-элементная модель. Синусоидальные токи  $i(t)$  текут по катушкам в противоположных направлениях.

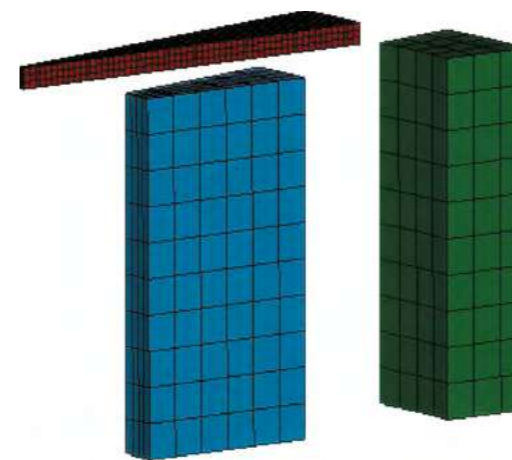


Рисунок 6 – Конечно-элементная модель электромагнитной левитации

Для выполнения расчётов использовали программную модель с параметрами, приведёнными в таблице.

Таблица – Параметры модели электромагнитной левитации

Показатель	Значение
Наложенное значение амплитуды тока, А (катушка $\omega_1$ )	$1,92 \times 10^7$
Наложенное значение амплитуды тока, А (катушка $\omega_2$ )	$1,15 \times 10^5$
Частота колебаний, Гц (катушки $\omega_1, \omega_2$ )	50
Электропроводность пластины, См/м	34
Плотность пластины, кг/м <sup>3</sup>	$2,687 \times 10^{-3}$

### Результаты расчёта

Результаты моделирования показывают концентрацию силы Лоренца в центре пластины (рисунок 7). Динамические характеристики сопоставимы с полученными в [16, 17] и хорошо согласуются с экспериментальными данными при частоте колебаний 3,27 Гц.

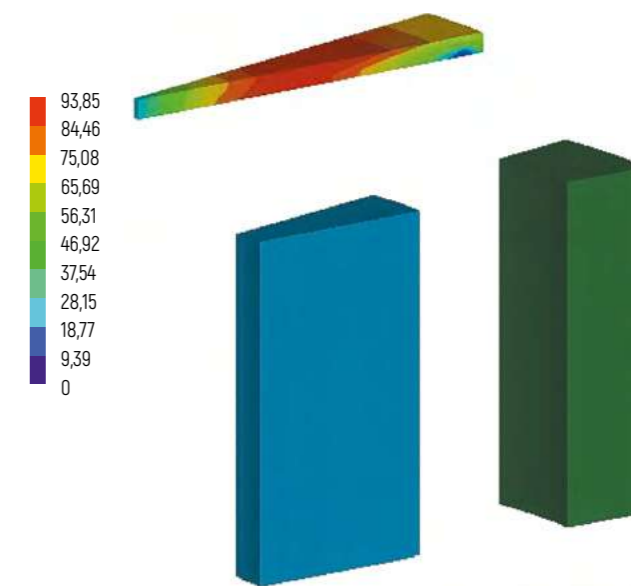


Рисунок 7 – Распределение силы Лоренца в модели электромагнитной левитации, Н

На рисунке 8 показан график вертикальных колебаний пластины, демонстрирующий, что после стабилизации процесса левитации (время около 8 с) высота взаимодействия тел составляет 38 мм.

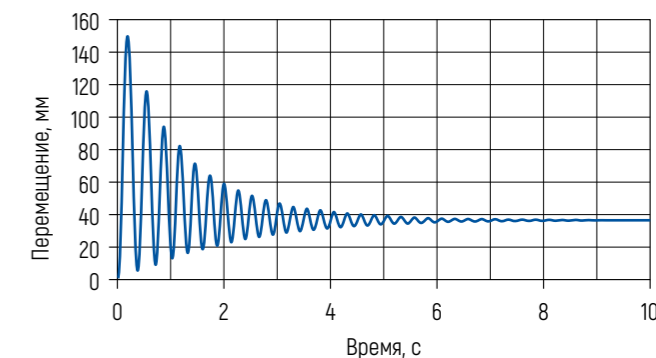


Рисунок 8 – График вертикальных колебаний пластины в электромагнитном поле

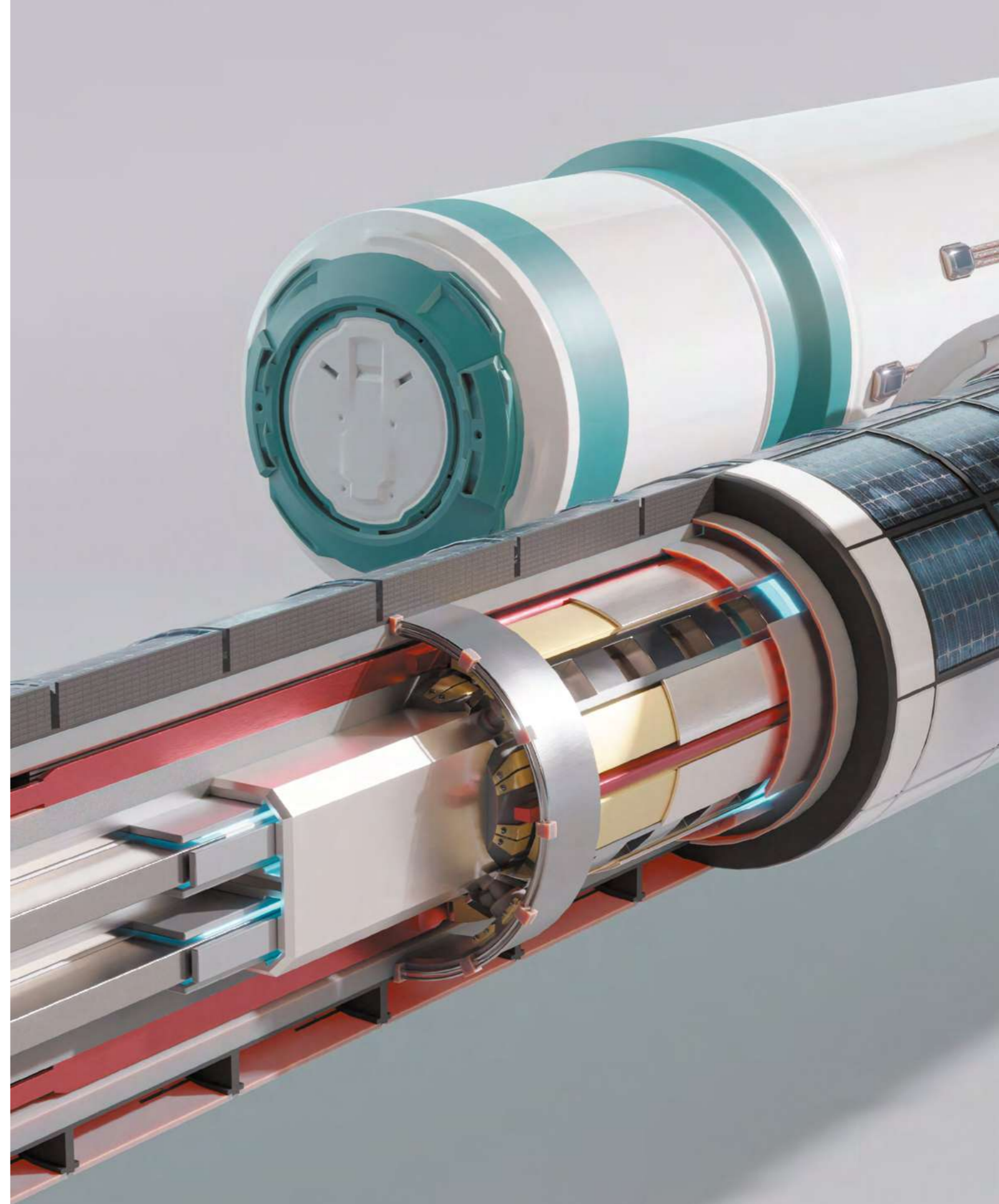
### Выводы и дальнейшие направления исследования

На основании предлагаемой модели взаимодействия магнитных тел разработана методика моделирования левитации круглой пластины в электромагнитном поле. Результаты теоретических расчётов показали, что главная

проблема рассматриваемого явления – поперечная устойчивость пластины. Выведение её из положения равновесия приводит к сбою в работе системы. В связи с этим предлагается систему электромагнитной левитации дополнить системой управления, оснащённой обратной связью. Данное решение потребует проведения дополнительных расчётов, которые станут целью дальнейших исследований.

## 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. Общепланетарное транспортное средство и космическое ожерелье «Орбита» как альтернатива ракетному освоению околоземного пространства / А.Э. Юницкий [и др.] // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. – 2021. – Т. 22, № 4. – С. 364–372.
3. Jayawant, B.V. Electromagnetic Suspension and Levitation / B.V. Jayawant // Reports on Progress in Physics. – 1981. – Vol. 44, No. 4. – P. 412–477.
4. Rote, D.M. Magnetic Levitation / D.M. Rote // Encyclopedia of Energy. – Elsevier Science, 2004. – Vol. 3. – P. 691–703.
5. Earnshaw, S. On the Nature of the Molecular Forces Which Regulate the Constitution of the Luminiferous Ether / S. Earnshaw // Transactions of the Cambridge Philosophical Society. – 1842. – Vol. 7. – P. 97–112.
6. Айзерман, М.А. Классическая механика / М.А. Айзерман. – М.: Наука, 1980. – 368 с.
7. Holmer, P. Faster Than a Speeding Bullet Train / P. Holmer // IEEE Spectrum. – 2003. – Vol. 40, iss. 8. – P. 30–34.
8. Feasibility of Magnetic Suspension for Second Generation Gravitational Wave Interferometers / M.E. Varvella [et al.] // Astroparticle Physics. – 2004. – Vol. 21, No. 3. – P. 325–335.
9. Berkelman, P.J. Lorentz Magnetic Levitation for Haptic Interaction: Device Design, Performance, and Integration with Physical Simulations / P.J. Berkelman, R.L. Hollis // International Journal of Robotics Research. – 2000. – Vol. 19, No. 7. – P. 644–667.
10. Design and Control of a Microrobotic System Using Magnetic Levitation / M.B. Khamesee [et al.] // IEEE/ASME Transactions on Mechatronics. – 2002. – Vol. 7, iss. 1. – P. 1–14.
11. Maxwell, J.C. A Treatise on Electricity and Magnetism / J.C. Maxwell. – London: Macmillan and Co., 1873. – 500 p.
12. Галёркин, Б.Г. Стержни и пластинки. Ряды в некоторых вопросах упругого равновесия стержней и пластинок / Б.Г. Галёркин // Вестник инженеров. – 1915. – Т. 1, № 19. – С. 897–908.
13. Yee, K.S. Numerical Solution of Initial Boundary Value Problems Involving Maxwell's Equations in Isotropic Media / K.S. Yee // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 1966. – Vol. 14, No. 3. – P. 302–307.
14. Hrennikoff, A. Solution of Problems of Elasticity by the Framework Method / A. Hrennikoff // Journal of Applied Mechanics. – Vol. 8, No. 4. – P. 169–175.
15. Courant, R. Variational Methods for the Solution of Problems of Equilibrium and Vibrations / R. Courant // Bulletin of the American Mathematical Society. – 1943. – Vol. 49, No. 1. – P. 1–23.
16. Description of TEAM Workshop Problem 28: An Electrodynamical Levitation Device / H. Karl [et al.] // Proceedings of the TEAM Workshop. – Graz, 1997. – P. 48–51.
17. Rapetti, F. An Overlapping Mortar Element Approach to Coupled Magneto-Mechanical Problems / F. Rapetti // Mathematics and Computers in Simulation. – 2010. – Vol. 80, iss. 8. – P. 1647–1656.





# Создание производств в ближнем космосе (на примере отраслей добывающей и обрабатывающей промышленности)

Юницкий А.Э.<sup>1,2</sup>,  
доктор философии транспорта

Артюшевский С.В.<sup>2</sup>

Климков А.Г.<sup>2</sup>,  
кандидат экономических наук

Климкова О.Э.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ООО «Астроинженерные  
технологии»,  
г. Минск, Беларусь

<sup>2</sup> ЗАО «Струнные технологии»,  
г. Минск, Беларусь

<sup>3</sup> ООО «Альма-Дент»,  
г. Минск, Беларусь



На основе обзора литературных источников подтверждена острая необходимость индустриализации космоса, создания в околоземном пространстве полноценных отраслей промышленности. В соответствии с разработанной авторами методикой, в том числе с использованием статистических данных и метода экспертной оценки, составлен рейтинг земных отраслей промышленности (как добывающей, так и обрабатывающей) для выявления целесообразности создания на их базе различных производств в ближнем космосе. Исходя из результатов, полученных в процессе исследования, сделаны выводы, а также даны рекомендации по их практическому использованию.

**Ключевые слова:** ближний космос, добывающая промышленность, индекс целесообразности, индустриализация космоса, критерий, методика оценки, обрабатывающая промышленность, рейтинг, статистические данные, экспертная оценка.

УДК 65.011.8:629.7



## Введение

Общеизвестно, что благоприятная окружающая природная среда является предпосылкой и основой экономического процветания и здоровья земного человечества. В то же время неустойчивые модели и мировые тенденции производства и потребления, увеличение масштабов использования природных земных ресурсов, обусловленные ростом населения, технократическим и потребительским характером развития человечества, всё в большей степени подвергают его риску, не приближая к достижению целей устойчивого развития. Подобные изменения стремительно ведут к ухудшению экологической, демографической и ряда иных составляющих жизни на Земле, угрожая свести на нет прогресс во всех сферах жизнедеятельности, достигнутый за последние 50 лет. Для того чтобы устранить негативные последствия и восстановить здоровые условия существования человечества, крайне важно принятие действенных мер и укрепление международного сотрудничества [1] в направлении сокращения выбросов парниковых газов, перехода на предельно экологичные типы транспорта, создания производств в околоземном пространстве. Одним из наиболее глобальных и очевидных действий является промышленное освоение космоса; обоснование необходимости такого направления приводится в многочисленных трудах учёных, начиная с К.Э. Циолковского [2, 3].

Ещё в 1911–1912 гг. К.Э. Циолковский отмечал высокую стоимость и низкую производительность ракетной техники [3], требующей значительных затрат топлива на перемещение груза с Земли на орбиту при чрезвычайно серьёзной экологической опасности подобных геокосмических перевозок.

Концепцию безракетного комплексного решения индустриализации космического пространства и научно-техническое обоснование такого проекта предложил инженер А.Э. Юницкий [4, 5] посредством общепланетарного транспортного средства (ОТС) и Струнных технологий Юницкого (ЮСТ).

Несмотря на актуальность и неизбежность индустриализации ближнего космоса, до настоящего времени практически не выявлено работ, посвящённых важной проблеме: каким именно образом (в том числе применительно к методическому подходу) осуществлять отбор отраслей промышленности для их будущего функционирования в околоземном пространстве.

В [6] исследована актуальность создания производств (на примере конкретных отраслей и предприятий) на орбите Земли с учётом ряда критериев, а также разработан

методический подход к оценке целесообразности перемещения производств в ближний космос (представлена теоретическая часть, без практического проведения оценки).

При этом несомненный научный интерес имеет просмотр указанных подходов, совершенствование разработанной ранее методики и её адаптация к отраслям промышленности (как добывающей, так и обрабатывающей), проведение фактической оценки и составление рейтинга отраслей, рекомендованных для создания (включая релокацию) в ближнем космосе. Решению данных задач и посвящено настоящее исследование.

## Обзор литературы

В [6] на основании статистических сведений [7] проведён анализ отдельных показателей развития человечества, связанных с природно-экологической и промышленной составляющими в общемировом масштабе, начиная с 1990 г. Общее положение дел и тенденции, сложившиеся на сегодняшний день: «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» [6].

Таким образом, единственно возможным обоснованным и целесообразным сценарием спасения человеческой цивилизации от неминуемых катастрофических экологических последствий является промышленное освоение космоса.

Ещё в 1982 г. белорусский инженер А.Э. Юницкий в [4] осуществил системный анализ неизбежности индустриального освоения ближнего космоса земной цивилизацией: «Наша промышленность приспособлена к земным условиям, так как выбора не было. Космос его предоставляет. Открываются удивительные возможности разместить заводы и фабрики в условиях невесомости, глубокого вакуума, сверхнизких и сверхвысоких температур, усиленной радиации... И они, эти условия, совсем рядом – каких-то несколько сот километров. Большинство технологических процессов гораздо эффективнее и экономичнее сможет протекать

в космическом пространстве, массовое производство поднимется на новую качественную ступень. Как сейчас заводские цеха выносятся за пределы жилой зоны, так и в будущем основная часть производства выйдет за пределы нашего общего дома – Земли, которая будет превращена в вечнозелёную зону для жизни, учёбы и отдыха землян. Чтобы всё это осуществить, геокосмический транспорт должен иметь не только производительность в миллиарды тонн в год, но и низкую себестоимость перевозок».

В 1983 г. американский писатель-фантаст, учёный А. Азимов для издания *The Stare* сделал прогноз относительно необходимости освоения космоса на основе его преимуществ: «Фактически в 2019 г. могут быть даже представлены проекты по массовому выводу отраслей на орбиту... Космос гораздо обширнее поверхности Земли, и поэтому является гораздо более полезным хранилищем для отходов, неотделимых от промышленности. В космосе нет живых существ, которые страдали бы от притока отходов. При этом отходы даже не останутся в непосредственной близости от Земли, а будут унесены солнечным ветром далеко за пределы пояса астероидов. Тогда Земля сможет избавиться от побочных эффектов индустриализации, сохранив необходимые ей преимущества. Фабрики, исчезнув с лица планеты, переместятся всего на несколько тысяч миль вверх» [8].

В [9] также приводится обоснование целесообразности индустриализации космоса и переноса туда отраслей тяжёлой промышленности. При этом канадский инженер Э. Кулу, посвящающий значительную часть своих научных исследований изучению космоса и являющийся владельцем специализированного тематического сайта, прогнозирует: не смотря на то что до настоящего времени в космосе ещё не велось строительство заводов и не осуществлялась их эксплуатация, они станут обычным явлением к концу 2030-х годов [8].

Как следует из многочисленных литературных источников и представленных ранее материалов [6], именно промышленность считается одним из главных загрязнителей окружающего мира, так как она охватывает все стадии ресурсного цикла: извлечение природного сырья (добывающая промышленность), его переработку (обрабатывающая промышленность), получение конечного продукта, возвращение в природную среду отходов производства.

При этом различные отрасли и направления индустрии существенно отличаются друг от друга по степени и характеру воздействия на природу – атмосферу, гидросферу, литосферу. Наиболее отрицательное влияние на живую оболочку Земли и её природный комплекс – биосферу –

оказывают такие отрасли, как энергетика, металлургия, транспорт и химическая промышленность [10].

Вместе с тем в результатах исследований лишь единичных экспертов (как белорусских, так и зарубежных) прослеживаются идеи и отдельные концепции относительно научной и практической проблемы отбора отраслей промышленности для их развёртывания за пределами планеты. К числу таких авторов, труды которых представлены в открытых источниках информации, относятся А.Э. Юницкий, В.Ю. Ключников, Н.С. Синюк, А.В. Бабаян, Э. Кулу, Э. Раш и др.

Однако в научных работах, за исключением [6], отсутствуют методические подходы к отбору отраслей промышленности или отдельных производств для создания на их базе индустрии в космосе.

Дополнительно необходимо отметить, что именно обрабатывающая промышленность, связанная с переработкой добытых сырья и энергии (а значит, с отходами и значительными выбросами вредных веществ), несёт наибольшую опасность для биосферы и всего человечества. Однако рассматривать воздействие промышленности на биосферу в разрезе исключительно её обрабатывающей составляющей представляется недостаточно корректным и релевантным. Именно поэтому в рамках проводимого исследования предложен комплексный подход в виде рассмотрения процессов создания (в том числе на основе релокации) производств в ближнем космосе на примере отраслей добывающей и обрабатывающей промышленности. Предполагается, что подобный подход позволит в дальнейшем достичь максимального эффекта (с экономической, логистической, технической и иных точек зрения) от создания производств и целых отраслей в ближнем космосе.

Указанная методика адаптирована к отраслям промышленности (как добывающей, так и обрабатывающей) и основана на проведении соответствующей оценки, включающей в себя симбиоз достоверных статистических данных за 2017–2020 гг. крупнейшего государства на планете – Российской Федерации – и сведений, полученных методом экспертной оценки.

## Описание метода

В основе разработанной методики оценки целесообразности создания производств в ближнем космосе лежит критериальный подход, базирующийся на использовании восьми критериев с аналогичным количеством соответствующих им показателей (один критерий – один показатель)

и неравнозначностью влияния их весовых коэффициентов (удельных весов), определённых авторами экспертным путём (таблица 1).

В целом величины удельных весов искомым критериев незначительно отличаются от аналогичных значений, представленных и обоснованных ранее в [6].

Таблица 1 – Матрица оценки целесообразности создания производств в ближнем космосе (на примере отраслей добывающей и обрабатывающей промышленности)

Критерий	Соответствующий критерию показатель, единица измерения	Весовой коэффициент критерия $K$ (от 0 до 1)	Поправочный коэффициент $\delta$ / значения показателей (0; 0,5; 1)		
			1	0,5	0
1. Потребление топливно-энергетических ресурсов	Совокупное потребление топливно-энергетических ресурсов по отрасли, млн тонн условного топлива	0,15	См. расчёт в таблице 2		
2. Выбросы вредных веществ	Совокупные выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников по отрасли, тыс. тонн	0,2	См. расчёт в таблице 2		
3. Количество организаций в отрасли	Количество организаций, основным видом деятельности которых является данная отрасль, тыс. ед.	0,1	См. расчёт в таблице 2		
4. Вовлечённость рабочей силы	Среднесписочная численность работников в отрасли, тыс. чел.	0,05	См. расчёт в таблице 2		
5. Длительность производственного процесса	Средняя продолжительность превращения сырья (материалов, полуфабрикатов) в готовую продукцию на Земле в рамках отрасли, дней	0,1	Более 30	5–30	Менее 5
6. Наличие ресурсов в ближнем космосе	Предполагаемое наличие в ближнем космосе ресурсов и сырья (полезные ископаемые, солнечная энергия, материалы и др.), необходимых для полноценного осуществления производственной деятельности в рамках отрасли	0,15	В достаточном объёме	Встречаются нечасто (в единичных случаях)	Полное отсутствие
7. Качество (конкурентоспособность) продукции	Предполагаемая степень улучшения характеристик, в том числе срока службы, производимой (добываемой) в космосе продукции за счёт естественных свойств среды (невесомость, глубокий вакуум, технологическая чистота и др.)	0,15	Значительное (в разы / в десятки раз)	Несущественное (без значительных изменений)	Ухудшение
8. Потребность в трудовых ресурсах	Примерная доля сотрудников, которых целесообразно переместить в ближний космос вместе с производством для обеспечения деятельности (при условии максимальной роботизации производственных процессов), % от списочной численности занятых	0,1	Менее 20	20–50	Более 50

Вместе с тем с учётом пересмотра отдельных подходов, направленных на объективность проведения расчётов и масштаб охвата данных (макро- и мезоуровни), а также на устранение отдельных дублирований и недоработок по сравнению с [6], предложено введение трёх новых критериев, значения показателей которых определяются на основе статистических материалов:

- «Потребление топливно-энергетических ресурсов»;
- «Количество организаций в отрасли»;
- «Вовлечённость рабочей силы».

В то же время критерии «Местонахождение», «Энергетическая мощность» и «Производственная площадь», использовавшиеся в [6], по указанным выше причинам исключены.

Приводимые в настоящей статье отрасли добывающей и обрабатывающей промышленности полностью коррелируют с Международной стандартной отраслевой классификацией видов экономической деятельности [11].

Несмотря на то что отдельные отрасли (например, добыча сырой нефти и природного газа) в настоящее время не представлены наличием соответствующего сырья в космосе, в рамках данного исследования рассмотрена каждая отрасль промышленности [11], что направлено на проведение комплексного анализа и оценки, а также на адекватность (релевантность) разработанной методики.

В результате расчётов, проведённых согласно указанной методике, определяется интегральное значение индекса целесообразности создания производств в ближнем космосе (далее – индекс целесообразности  $I$ ), составляется соответствующий рейтинг отраслей.

Значения показателей по четырём из восьми критериев (1–4) выявляются на основе достоверных общестатистических данных на примере Российской Федерации, ещё по четырём (5–8) – экспертно-аналитическим путём, в том числе на основе анализа различных тематических источников информации [12–15], экспертной позиции отдельных отечественных учёных с выставлением поправочного коэффициента  $\delta$  от 0 до 1 (0; 0,5; 1) в зависимости от отнесения значений показателей отрасли по критериям 5–8 к шкале согласно таблице 1.

Осуществить поиск аналитических (статистических) мировых данных по показателям критериев 1–4, указанным в таблице 1, в тематических научных источниках не представляется возможным. Данный факт подтверждает и отсутствие подобной информации в ответ на письма-запросы (декабрь 2021 г.) в 12 компетентных международных организаций.

Именно поэтому для проведения исследования и оценки согласно разработанной методике (в части критериев 1–4 и соответствующих им показателей) использованы достоверные актуальные статистические данные Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации за 2017–2020 гг. [16, 17].

Площадь самого крупного государства в мире – Российской Федерации – составляет 11,4 % общей площади суши планеты (с учётом Антарктиды). При этом протяжённость территории с запада на восток – около 10 000 км, что сопоставимо с диаметром планеты (12 700 км). Страна характеризуется разнообразием полезных ископаемых, топливно-энергетического сырья, климатических поясов, рельефа и других природных ресурсов, что создаёт как подходящие условия для развития многочисленных отраслей добывающей и обрабатывающей промышленности, так и объективные возможности для проведения анализа по показателям критериев 1–4 таблицы 1 и последующей оценки. Кроме того, в открытых источниках, принадлежащих компетентным российским органам, в отличие от аналитических материалов других крупнейших государств мира содержится достаточное количество достоверной статистической информации в области промышленности после 2016 г. [18].

Индекс целесообразности  $I$  согласно разработанной методике рассчитывается по следующей авторской формуле:

$$I = \left( \left[ \sum_{n=1}^2 K_n \times X_n \right] + \left[ \sum_{n=3}^4 K_n \times (1 - X_n) \right] + \left[ \sum_{n=5}^8 K_n \times \delta_n \right] \right) \times 100 \%, \quad (1)$$

где  $I$  – индекс целесообразности (в диапазоне от 0 до 100 %);

$n$  – порядковый номер критерия (1–8);

$K$  – весовой коэффициент каждого критерия, отражающий степень его приоритетности в области создания производств в космосе;

$X$  – нормализованное значение критериев 1–4 согласно фактическим значениям соответствующих им показателей;

$\delta$  – поправочный (условный) коэффициент для критериев 5–8 в зависимости от экспертного отнесения значений по отрасли к определённой категории согласно шкале.

Расчёт значений индекса целесообразности  $I$  в части поправочных коэффициентов по критериям 1–4, фактические значения показателей которых взяты из статистических данных Российской Федерации, осуществлён на основе одного из наиболее широко используемых в подобных случаях в статистике методов – минимаксной нормализации данных [19].

Нормализованное значение  $X_i$  для критериев 1–4 и соответствующих им показателей определяется по формуле:

$$X_i = \frac{X_{i\text{факт}} - X_{i\text{мин}}}{X_{i\text{макс}} - X_{i\text{мин}}}, \quad (2)$$

где  $X_i$  – нормализованное значение  $i$ -го показателя (от 0 до 1);  
 $X_{i\text{факт}}$  – фактическое значение  $i$ -го показателя по рассматриваемой отрасли за исследуемый период (применительно к исследованию – с 2017 по 2020 г.);

$X_{i\text{мин}}, X_{i\text{макс}}$  – минимальное и максимальное значения  $i$ -го показателя данного критерия за аналогичный период среди линейки всех рассматриваемых отраслей.

Для показателей, рассчитываемых по критериям 1 «Потребление топливно-энергетических ресурсов» и 2 «Выбросы вредных веществ», используется прямая пропорциональная зависимость: максимальное нормализованное значение по каждому из них (применительно к отраслям промышленности) означает наивысшую степень

целесообразности создания производств в космосе. По критериям 3 «Количество организаций в отрасли» и 4 «Вовлечённость рабочей силы», исходя из экономических и логических соображений, применена обратная пропорциональная зависимость (для создания в ближнем космосе рекомендованы главным образом отрасли, представленные в настоящее время на планете минимальным количеством организаций и численности сотрудников).

### Результаты и анализ

Согласно разработанной методике для определения индекса целесообразности / по отраслям промышленности авторами проведены соответствующие расчёты. При этом использованы сводные данные, представленные в таблицах 2 (применительно к критериям 1–4 и соответствующим им показателям) и 3 (критерии 5–8 и соответствующие им показатели).

Таблица 2 – Сводные статистические данные за 2017–2020 гг. по Российской Федерации и их нормализованные значения по отдельным показателям (критерии 1–4 таблицы 1) в разрезе отраслей промышленности

Подраздел* и вид (отрасль) промышленности	Значение показателя по критериям							
	Критерий 1		Критерий 2		Критерий 3		Критерий 4	
	Совокупное потребление топливно-энергетических ресурсов по отрасли, млн тонн условного топлива**	Нормализованное значение $X_1$	Совокупные выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников по отрасли, тыс. тонн	Нормализованное значение $X_2$	Количество организаций, основным видом деятельности которых является данная отрасль, тыс. ед.	Нормализованное значение $X_3$	Среднесписочная численность работников в отрасли, тыс. чел.	Нормализованное значение $X_4$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Добывающая промышленность								
05. Добыча угля и лигнита	20,4	0,076	4713,5	0,439	0,8	0,014	141,2	0,184
06. Добыча сырой нефти и природного газа	163,6	0,617	9631,3	0,896	1,4	0,031	223,3	0,296
07. Добыча металлических руд	39,1	0,146	3773	0,351	3,4	0,082	183,5	0,242
08. Прочие отрасли горнодобывающей промышленности и разработка карьеров	15,6	0,057	498,2	0,046	8,2	0,207	90,2	0,114

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Обрабатывающая промышленность								
10. Производство пищевых продуктов	37,8	0,141	752,4	0,07	36,1	0,932	740,3	1
11. Производство напитков	6,4	0,023	146,9	0,013	6,4	0,159	92,9	0,118
12. Производство табачных изделий	1,4	0,004	2,2	0	0,3	0	6,2	0
13. Производство текстильных изделий	1,6	0,004	17,9	0,001	6,5	0,161	50,3	0,06
14. Производство одежды	1,2	0,003	7	0	13	0,33	73,5	0,092
15. Производство изделий из кожи и смежных изделий	0,4	0	16,9	0,001	1,9	0,044	26,8	0,028
16. Производство древесины и деревянных и пробковых изделий, кроме мебели	13,7	0,05	444,9	0,041	22,5	0,577	114,3	0,147
17. Производство бумаги и изделий из бумаги	28,2	0,105	369,7	0,034	3,9	0,094	87,5	0,111
18. Полиграфическая деятельность и тиражирование носителей записи	12,5	0,046	12,2	0,001	13,9	0,355	33,7	0,037
19. Производство кокса и продуктов нефтепереработки	146,9	0,554	2686,2	0,25	1,3	0,027	128,5	0,167
20. Производство химических веществ и химических продуктов	107,2	0,404	1552,9	0,144	10,6	0,269	310,2	0,414
21. Производство фармацевтических препаратов, медицинских химических веществ и лекарственных растительных продуктов	11,1	0,04	9,9	0,001	2,1	0,047	71,5	0,089
22. Производство резиновых и пластмассовых изделий	8,4	0,03	81,2	0,007	17,4	0,444	136,4	0,177
23. Производство прочих неметаллических минеральных продуктов	66,8	0,251	1521,3	0,141	24,1	0,621	298,4	0,398
24. Металлургическая промышленность	264,9	1	10 745,6	1	3,9	0,094	456,7	0,614
25. Металлообрабатывающая промышленность, кроме производства машин и оборудования	93	0,35	142,3	0,013	38,7	1	456,9	0,614
26. Производство вычислительной, электронной и оптической техники	7,4	0,027	131,6	0,012	8,9	0,224	357,3	0,478
27. Производство электрооборудования	4,8	0,017	62,2	0,006	8,1	0,204	187,1	0,246
28. Производство машин и оборудования, не включённых в другие категории	12,1	0,044	162,6	0,015	16	0,408	303,5	0,405
29. Производство автомобилей, прицепов и полуприцепов	10,2	0,037	107,1	0,01	3,1	0,073	259,4	0,345
30. Производство прочих транспортных средств и оборудования	16,6	0,061	168	0,015	3,7	0,09	598,7	0,807
31. Производство мебели	5	0,017	28,6	0,002	16,6	0,424	51,7	0,062
32. Производство прочих готовых изделий	2,4	0,007	9,3	0,001	7,8	0,196	39,5	0,045

\* Согласно [11].

\*\* Тонна условного топлива – принята в Российской Федерации единица измерения энергии, равная  $2,93 \times 10^{10}$  Дж; определяется как количество энергии, выделяющееся при сгорании тонны топлива с теплотворной способностью 7000 ккал/кг (соответствует типичной теплотворной способности каменного угля) [16, 17].

Таблица 3 – Значения поправочного (условного) коэффициента  $\delta$  (0; 0,5; 1) для критериев 5–8 таблицы 1 с учётом экспертного отнесения значений по отрасли к определённой категории

Подраздел* и вид (отрасль) промышленности	Значение поправочного коэффициента $\delta$			
	Критерий 5	Критерий 6	Критерий 7	Критерий 8
<b>Добывающая промышленность</b>				
05. Добыча угля и лигнита	0	0	0	0
06. Добыча сырой нефти и природного газа	0,5	0	0	0
07. Добыча металлических руд	0,5	1	1	0
08. Прочие отрасли горнодобывающей промышленности и разработка карьеров	0,5	1	1	0
<b>Обрабатывающая промышленность</b>				
10. Производство пищевых продуктов	0	0	0,5	1
11. Производство напитков	0	0	0,5	1
12. Производство табачных изделий	0	0	0,5	1
13. Производство текстильных изделий	0,5	0	0,5	1
14. Производство одежды	0,5	0	0,5	1
15. Производство изделий из кожи и смежных изделий	0,5	0	0,5	1
16. Производство древесины и деревянных и пробковых изделий, кроме мебели	0,5	0	0	1
17. Производство бумаги и изделий из бумаги	0,5	0	0,5	1
18. Полиграфическая деятельность и тиражирование носителей записи	0	0	0	1
19. Производство кокса и продуктов нефтепереработки	0	0	0,5	1
20. Производство химических веществ и химических продуктов	0,5	0,5	1	1
21. Производство фармацевтических препаратов, медицинских химических веществ и лекарственных растительных продуктов	0,5	0	1	1
22. Производство резиновых и пластмассовых изделий	0,5	0	1	1
23. Производство прочих неметаллических минеральных продуктов	0,5	0	1	1
24. Metallургическая промышленность	0,5	1	1	0,5
25. Metallобрабатывающая промышленность, кроме производства машин и оборудования	0,5	1	1	0,5
26. Производство вычислительной, электронной и оптической техники	0,5	0,5	1	1
27. Производство электрооборудования	0,5	0,5	1	1
28. Производство машин и оборудования, не включённых в другие категории	0,5	0,5	1	0,5
29. Производство автомобилей, прицепов и полуприцепов	0,5	0,5	1	0,5
30. Производство прочих транспортных средств и оборудования	0,5	0,5	1	0,5
31. Производство мебели	0,5	0	0,5	1
32. Производство прочих готовых изделий	0,5	0,5	0,5	1

\* Согласно [11].

На основании формул (1), (2) и данных таблиц 1–3 произведён расчёт интегральных значений индекса целесообразности / по отраслям промышленности. Соответствующий рейтинг отраслей представлен на рисунках 1 (обрабатывающая) и 2 (добывающая).

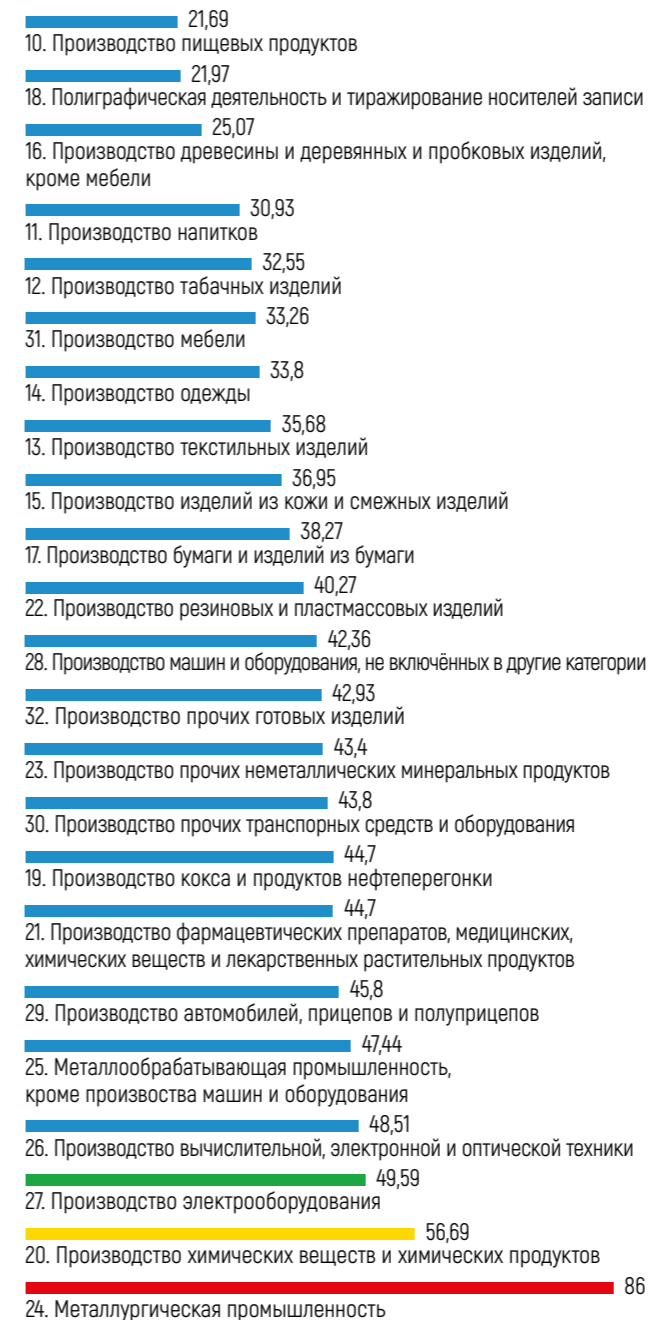


Рисунок 1 – Рейтинг отраслей обрабатывающей промышленности, рекомендованных для создания в ближнем космосе, в зависимости от индекса целесообразности /, %



Рисунок 2 – Рейтинг отраслей добывающей промышленности, рекомендованных для создания в ближнем космосе, в зависимости от индекса целесообразности /, %

## Выводы и дальнейшие направления исследования

Мировые тенденции производства и потребления, роста численности населения, выбросов вредных веществ в окружающую среду, а также технократический и потребительский характер развития человечества в целом подтверждают необходимость скорейшего освоения космоса (причём неракетным путём). Исходя из этого, разработанная ранее методика [6] авторами усовершенствована и адаптирована к отраслям промышленности (как обрабатывающей, так и добывающей): предполагается проведение фактической оценки и составление рейтинга отраслей, рекомендованных для создания (включая релокацию) в ближнем космосе.

В результате среди отраслей обрабатывающей промышленности в первую очередь целесообразными для создания в околоземном пространстве представляются следующие:

- металлургическая промышленность (индекс целесообразности / – 86 %);
- производство химических веществ и химических продуктов (56,69 %);
- производство электрооборудования (49,59 %);
- производство вычислительной, электронной и оптической техники (48,51 %);
- металлообрабатывающая промышленность, кроме производства машин и оборудования (47,44 %).

Вместе с тем к числу отраслей, создание и перенос которых за пределы планеты в настоящее время представляется преждевременным и нецелесообразным, отнесены производство пищевых продуктов, а также полиграфическая деятельность.

Согласно результатам оценки на основе представленной методики среди отраслей добывающей промышленности

в первую очередь целесообразными для создания за пределами планеты представляются следующие:

- добыча металлических руд (индекс целесообразности / – 57,19 %);
- прочие отрасли горнодобывающей промышленности и разработка карьеров (49,15 %).

Таким образом, в рамках грядущего создания новой космической экономики с её неограниченными возможностями и ресурсами применение результатов данного исследования является актуальным и может использоваться компетентными органами государственного управления, общественными организациями, включая международные (главным образом занимающиеся изучением космоса и проблем в указанной сфере), а также предприятиями промышленного сектора для оценки собственных возможностей и целесообразности создания производств (отраслей) за пределами планеты в ближайшем будущем.

Комплекс экологических проблем и связанное с ними изменение климата – это серьёзный кризис, последствия которого ощущаются всё сильнее. Применение предложенного методического подхода, возможно, позволит в скором времени оказать содействие в осуществлении технологического прорыва и перемещении наиболее вредных промышленных производств в космос, тем самым обеспечив безопасность жизни на Земле. При этом благодаря согласованной работе общества человечество совершит скачок и создаст «зелёную» планету, на которой будет восстановлена гармония между людьми и окружающей средой.

## Литература

1. *Global Environment Outlook 6 [Electronic resource] // UN Environment Programme. – Mode of access: [https://www.unep.org/resources/global-environment-outlook-6?\\_ga=2.156459387.15669948175.1636633375-320521572.1636633375](https://www.unep.org/resources/global-environment-outlook-6?_ga=2.156459387.15669948175.1636633375-320521572.1636633375). – Date of access: 15.03.2022.*
2. *Циолковский, К.Э. Промышленное освоение космоса: сб. тр. / К.Э. Циолковский. – М.: Машиностроение, 1989. – 280 с.*
3. *Циолковский, К.Э. Исследование мировых пространств реактивными приборами / К.Э. Циолковский. – Калуга: 1-я Гостип. ГСНХ, 1926. – 128 с.*
4. *Юницкий, А. Пересадочная, космическая, кольцевая / А. Юницкий // Изобретатель и рационализатор. – 1982. – № 4. – С. 28–29.*

5. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Гомель: Инфотрибо, 1995. – 337 с.: ил.*
6. *Юницкий, А.Э. Отбор производств для их переноса в ближний космос / А.Э. Юницкий, А.Г. Климков // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы IV междунар. науч.-техн. конф., Марьино Горка, 18 сент. 2021 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2022. – С. 137–148.*
7. *Indicators [Electronic resource] // The World Bank. – Mode of access: <https://data.worldbank.org/indicator?tab=all>. – Date of access: 15.03.2022.*
8. *In-Space Manufacturing & Space Economy [Electronic resource] // Factories in Space. – Mode of access: <https://www.factoriesinspace.com/>. – Date of access: 20.03.2022.*
9. *What Excites You About In-Space Manufacturing? [Electronic resource] // Filling Space. – Mode of access: <https://filling-space.com/2021/02/26/what-excites-you-about-in-space-manufacturing/>. – Date of access: 20.03.2022.*
10. *Промышленность и окружающая среда – география отраслей мирового хозяйства [Электронный ресурс] // Compendium.school. – Режим доступа: <https://compendium.school/geographic/world/109.html>. – Дата доступа: 04.03.2022.*
11. *Международная стандартная отраслевая классификация всех видов экономической деятельности (МСОК) [Электронный ресурс] / Организация Объединённых Наций. – Режим доступа: [https://unstats.un.org/unsd/publication/seriesm/seriesm\\_4rev4r.pdf](https://unstats.un.org/unsd/publication/seriesm/seriesm_4rev4r.pdf). – Дата доступа: 19.03.2022.*
12. *Production [Electronic resource] // Astroengineering Technologies. – Mode of access: <https://aet.space/production>. – Date of access: 10.03.2022.*
13. *In-Space Manufacturing: One Giant Leap for Robotkind [Electronic resource] // Aerospace Manufacturing. – Mode of access: <https://www.aero-mag.com/in-space-manufacturing-one-giant-leap-for-robotkind>. – Date of access: 10.03.2022.*
14. *In-Space Manufacturing [Electronic resource] // NASA. – Mode of access: <https://www.nasa.gov/oem/in-space-manufacturing>. – Date of access: 11.03.2022.*
15. *In-Space Production Applications: Advanced Manufacturing and Materials [Electronic resource] // ISS National*

*Laboratory. – Mode of access: <https://www.issnationallab.org/ispa-materials-manufacturing/>. – Date of access: 11.03.2022.*

16. *Промышленное производство в России. 2019: стат. сб. – М.: Росстат, 2019. – 286 с.*
17. *Промышленное производство в России. 2021: стат. сб. – М.: Росстат, 2021. – 305 с.*
18. *География России [Электронный ресурс] // Википедия. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/География\\_](https://ru.wikipedia.org/wiki/География_)*

*России#:~:text=Россия%20–%20трансконтинентальное%20государство%2C%20расположенное%20на,в%20мире%20государством%20по%20территории.&text=Крайние%20северная%20и%20восточная%20материковые,ш. – Дата доступа: 11.03.2022.*

19. *Нормализация данных (Data Normalization) [Электронный ресурс] // Loginom. – Режим доступа: <https://wiki.loginom.ru/articles/data-normalization.html>. – Дата доступа: 14.03.2022.*



# Комплексное использование бурого угля в реликтовой солнечной биоэнергетике

Юницкий А.Э.<sup>1,2</sup>,  
доктор философии транспорта

Василевич В.В.<sup>2</sup>

Першай Н.С.<sup>2</sup>,  
кандидат технических наук

<sup>1</sup> ООО «Астроинженерные технологии»,  
г. Минск, Беларусь

<sup>2</sup> ЗАО «Струнные технологии»,  
г. Минск, Беларусь



Представлен обзор комплексного использования бурого угля при создании реликтовой солнечной биоэнергетики (РСБЭ). Разработки в данном направлении являются важной составляющей экоориентированной технологической платформы uEnergy, необходимой для реализации программы «ЭкоМир» [1]. Обозначены ключевые моменты комплексного применения бурого угля, который способствует внедрению экологически чистой РСБЭ, минимально воздействующей на окружающую среду и обеспечивающей теплоэлектростанции топливом, а растения – органическими удобрениями. Экспериментально подтверждена эффективность метода мокрого помола бурого угля в пределах 0–100 мкм, позволяющего извлекать гуминовые вещества для питания растений и получать водоугольное топливо (ВУТ).

*Ключевые слова:* бурый уголь, водоугольное топливо (ВУТ), гуминовые вещества, измельчение угля, органические удобрения, размер фракции.

УДК 552.576.1:547.992.2:662.757



## Введение

Реликтовая солнечная биоэнергетика (РСБЭ) – энергетика, основанная на использовании ископаемых сланцев и бурого угля с целью получения чистой энергии и попутной выработки живого гумуса, предназначенного для восстановления плодородия бедных и пустынных земель. РСБЭ способна активировать минеральное богатство древних почв и энергию древнего Солнца, аккумулированные живыми организмами, в первую очередь растениями, в периоды мезозоя и кайнозоя и сохранённые затем в горючих ископаемых [2].

Бурый уголь представляет собой горную породу растительного происхождения, имеющую сложную многокомпонентную структуру. Состав и свойства микрокомпонентов определяют многообразие угля, а также выбор направления его переработки. В отличие от других природных горючих ископаемых (природный газ, нефть) уголь характеризуется богатым минеральным составом (включает свыше 80 химических элементов) и имеет более широкий разброс физических и технологических свойств.

Кроме того, бурый уголь являлся основным топливом во время индустриальной революции. Сейчас он продолжает играть важную роль в электроэнергетике, несмотря на то что во многих отраслях заменён на другие ресурсы.

Мировые запасы угля более чем в четыре раза превышают суммарные запасы других горючих ископаемых (нефть, газ, торф, сланец): доля угля по геологическим запасам составляет 89,53 %, по условно добываемым – 82,66 % [3].

Для сравнительного анализа приведена соответствующая статистическая информация: объём мирового потребления угля в 1990–2021 гг. (рисунок 1); объём потребления

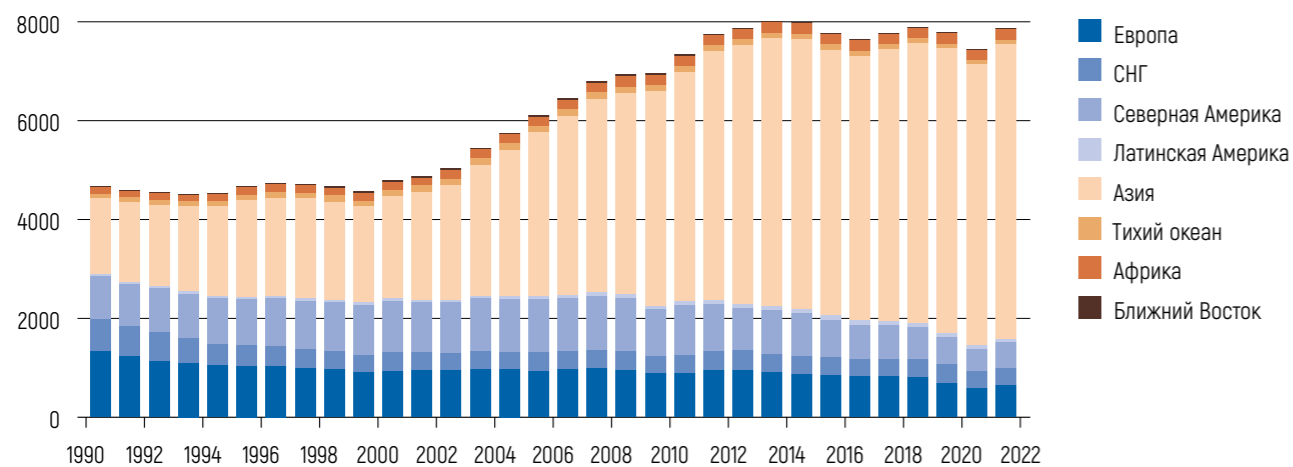


Рисунок 1 – Мировое потребление угля в 1990–2021 гг., млн тонн

угля по странам в 2021 г. (рисунок 2); доля угля в совокупном потреблении энергии в 2021 г. (рисунок 3) [4].

Угли отличаются большим разнообразием состава и свойств, что обусловлено геолого-генетическими факторами, определяющими процесс углеобразования в различных условиях и структурных зонах земной коры (исходный материал, условия накопления и преобразования вещества, воздействие различной температуры и давления).

По составу материнского вещества угли подразделяются на гумусовые, сапропелевые и гумусо-сапропелевые. Гумусовые угли сформировались из остатков и продуктов разложения наземных растений; сапропелевые – из водорослей и продуктов их разложения. Гумусовые угли имеют наибольшее распространение, широко используются в качестве топлива и технологического сырья [5].

В углях присутствуют практически все элементы периодической системы Менделеева, концентрации которых изменяются в значительных пределах. Целесообразно эти элементы разделить на несколько групп:

1) главные компоненты (содержание превышает 0,1 %, или 1000 г/т) – углерод, водород, кислород, азот, сера, кремний, алюминий, железо, магний, натрий, калий, титан, кальций. Перечисленные элементы называют макрокомпонентами минеральной части или (за исключением серы) золообразующими элементами, так как они образуют основную массу золы;

2) малые компоненты (содержание менее 1000 г/т). Данную группу принято подразделять на три подгруппы:

- чрезмерно малые элементы (содержание колеблется от 10 до 1000 г/т) – бор, фтор, фосфор, хлор, иногда титан, ванадий, хром, марганец, никель, медь, цинк, мышьяк, свинец, барий, цирконий;

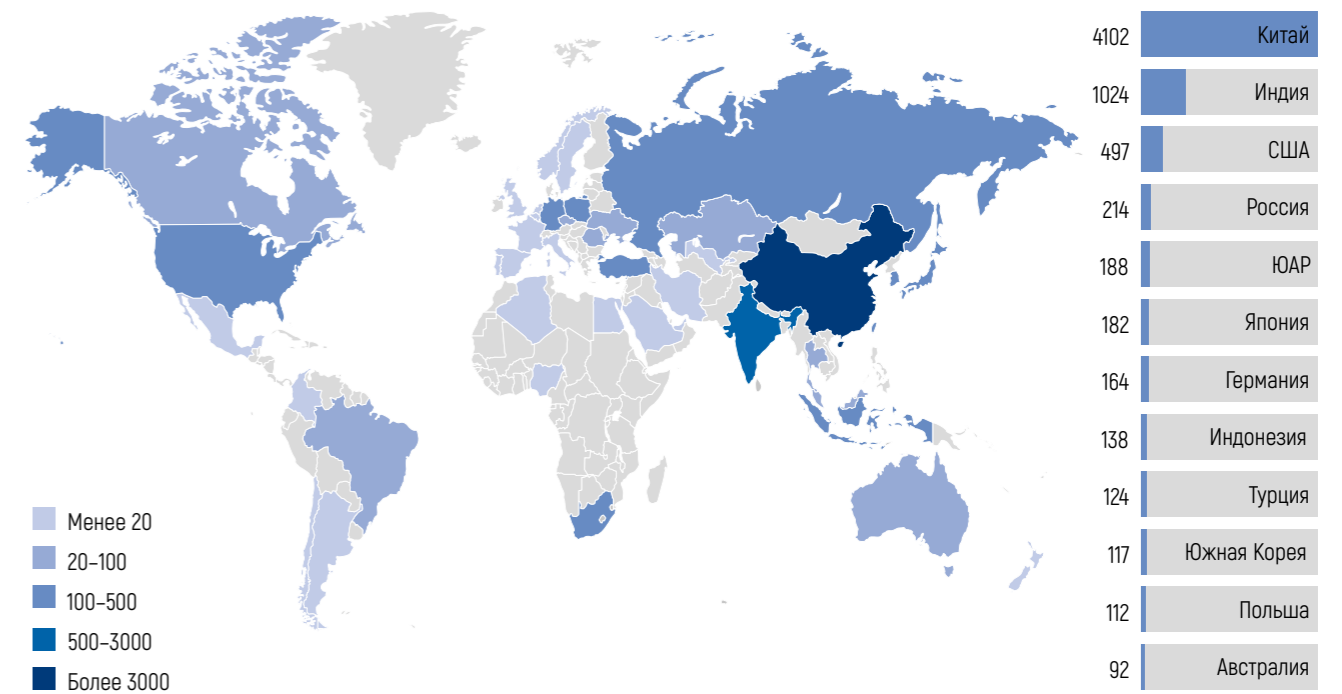


Рисунок 2 – Потребление угля по странам в 2021 г., млн тонн

- редкие элементы (содержание чаще всего составляет от 0,1 до 10 г/т) – литий, бериллий, скандий, кобальт, галлий, германий, селен, стронций, бром, рубидий, иттрий, ниобий, молибден, кадмий, олово, сурьма, йод, цезий, лантан, вольфрам, висмут, уран, иттербий;
- ультраредкие элементы (содержание не превышает 0,1 г/т) – золото, серебро, индий, рений, ртуть, иридий, платина [6].

Согласно ГОСТ 25543-2013 [7] бурый уголь представлен одной маркой (Б), имеющей три технологические группы: первый бурый (1Б), второй бурый (2Б), третий бурый (3Б). Эти группы существенно различаются как по внешним признакам, так и по составу, качеству и направлениям использования. По внешним признакам в петрологии выделяют следующие группы: бурые землистые, бурые плотные матовые и бурые плотные блестящие угли, что приблизительно соответствует трём технологическим группам – 1Б, 2Б, 3Б [6].

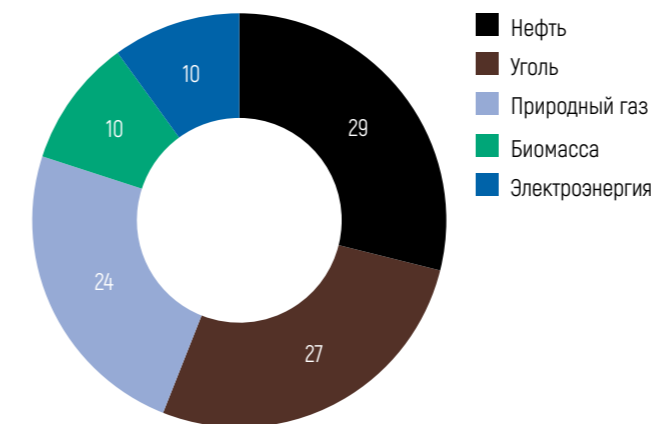


Рисунок 3 – Доля угля в совокупном потреблении энергии в 2021 г., %

## Комплексное использование бурого угля

В настоящее время уголь используется в основном в качестве топлива; в результате сжигания данной горючей породы находящиеся в ней полезные вещества выбрасываются вместе с продуктами горения или золой. Разработка технологии, позволяющей перед сжиганием выделить из угля полезные вещества для дальнейшего применения (например, в растениеводстве), является перспективным направлением исследований. Такой подход носит комплексный характер, включающий предварительную подготовку полезного ископаемого перед сжиганием, в первую очередь – операцию измельчения.



В схему комплексного использования бурого угля (рисунок 4) входит этап извлечения гуминовых веществ, важных для нормального развития растений. Применение данных веществ в качестве органических удобрений значительно увеличивает плодородие почв и тем самым расширяет сельскохозяйственную ресурсную базу плодородных земель.

Комплексное использование бурого угля в РСБЭ обладает рядом существенных преимуществ. Извлечение гуминовых веществ и части макро- и микроэлементов, содержащихся в угле и в дальнейшем обогащённых ассоциациями агрономически ценных почвенных микроорганизмов, обеспечит производство органических удобрений, повышающих плодородие почв. Добавление в органические удобрения оптимальной пропорции золы после сжигания водоугольного топлива (ВУТ) и активных веществ после очистки дымовых газов способствует регулированию количества необходимых макро- и микроэлементов, взятых древними растениями и вновь возвращаемых в почву сегодня. Твёрдая мелкодисперсная фракция угля после извлечения гуминовых веществ и части макро- и микроэлементов является сырьём для производства ВУТ. Уменьшение содержания в угле примесей приводит к повышению качества топлива и чистоты дымовых газов. Зола, образующаяся при сжигании ВУТ, и активное вещество, применяющееся при очистке дымовых газов, – источники важных для органических удобрений макро- и микроэлементов. Углекислый газ, образующийся при сжигании ВУТ, повышает урожайность теплиц.

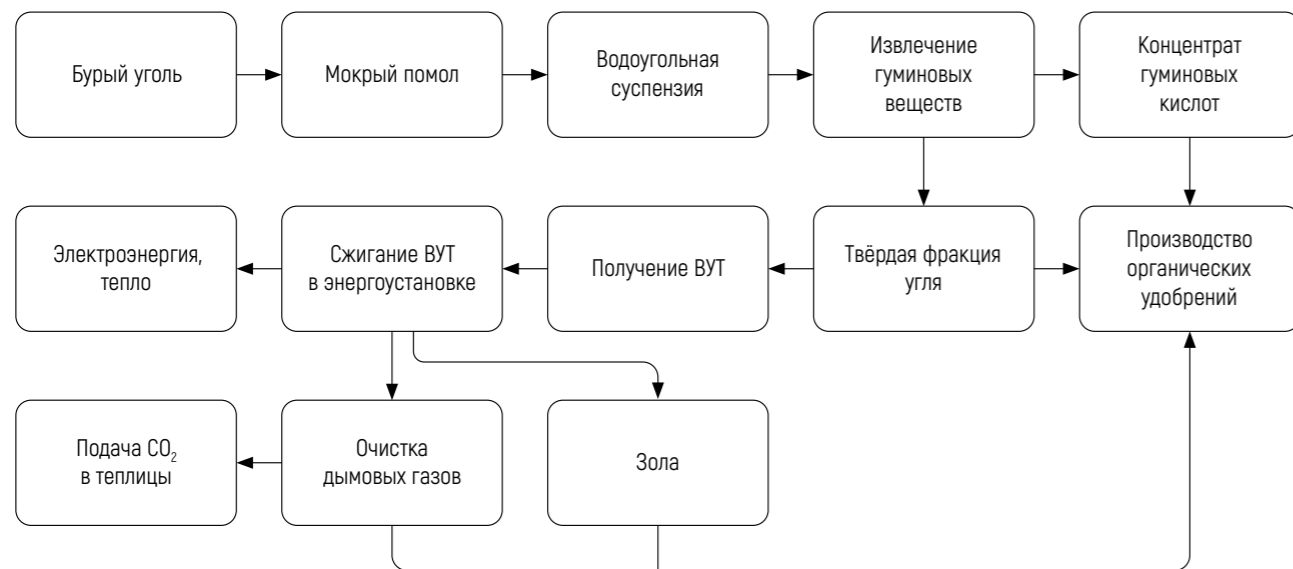


Рисунок 4 – Комплексное (безотходное) использование бурого угля

## Гуминовые вещества в буром угле

Гуминовые вещества входят в состав органической части почвы и отвечают за её плодородие. В настоящее время для повышения урожайности широко используются жидкие органические удобрения, основанные на гуминовых веществах [8]. В растворимом состоянии данные соединения быстрее включаются в процесс питания растений за счёт всасывания их корневой системой из почвы. В состав гуминовых веществ входят макро- и микроэлементы, азот и фосфор в легко усваиваемой форме, которые являются ценными питательными веществами и необходимы для роста и урожайности сельскохозяйственных культур. Гуминовые вещества повышают устойчивость растений к болезням и негативным условиям окружающей среды, благоприятно влияют на семена, поднимая процент всхожести и снижая длительность прорастания. Кроме ускорения деления растительных клеток растворимые гуминовые вещества оказывают положительное воздействие на корневую систему растений за счёт увеличения проницаемости клеточных мембран. Польза данных соединений для улучшения плодородия почвы заключается в корректировке её водородного показателя, что особенно актуально для земель с повышенной кислотностью.

Гуминовые вещества – сложная многокомпонентная система, содержащая гумусовые кислоты, гумин и прогуминовые вещества [9]. В свою очередь гумусовые кислоты представляют собой комплекс органических соединений, выделяемых из каустобиолитов и почв растворами щелочей,

солей или органическими растворителями [10]: гуминовые кислоты, фульвокислоты и гиматомелановые кислоты. Гуминовые кислоты образуются в результате подкисления щелочного раствора гумусовых кислот; фульвокислоты остаются в надосадочной жидкости после отделения гуминовых кислот; гиматомелановые кислоты получают в процессе обработки гуминовых кислот растворителем (этанол, ацетон). Гуминовые кислоты являются высокомолекулярными азотсодержащими органическими соединениями. Органическая часть включает в себя набор алифатических и ароматических колец, боковые углеводородные цепи с различной степенью разветвления, а также гидрофильные функциональные группы.

В общем виде формула гуминовых кислот угля имеет структуру, показанную на рисунке 5 [11]. В органической части угля выделяют битумную составляющую, гуминовые вещества и остаточный уголь. Содержание гуминовых кислот зависит от разновидности угля (лигнит – 17–70 %, бурые угли – 35–70 %).

Гуминовые вещества из каустобиолитов и почв извлекают различными водными растворами: NaOH, KOH, NH<sub>4</sub>OH, NaHCO<sub>3</sub>, Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, NaF, Na<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO и др.

Результаты разделения гуминовых веществ зависят от характеристик исходного сырья и условий проведения процесса. Кроме того, скорость и степень извлечения гуминовых кислот обусловлены концентрацией щёлочи, степенью дисперсности исходного сырья и технологическими режимами (температура и др.). Учитывая данные факторы,

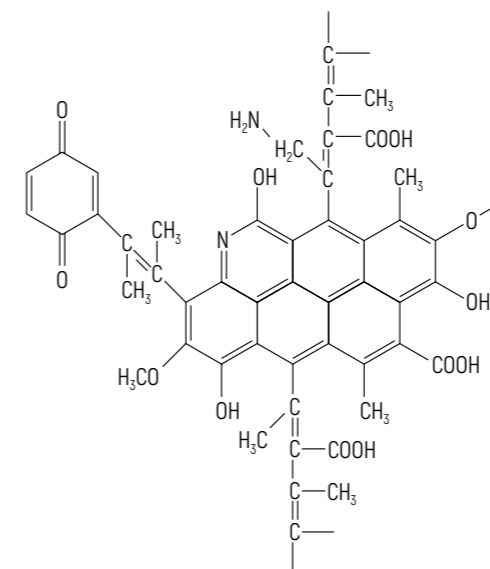


Рисунок 5 – Фрагмент молекулы гуминовых кислот угля

была создана стандартная методика для определения выхода гуминовых кислот из торфа, бурого и каменного углей [12]. Однако предлагаемый ранее способ создания ВУТ имеет недостатки, связанные прежде всего с получением мелкой фракции угля, из которой впоследствии можно извлекать гуминовые вещества и затем производить ВУТ, требуемое для выработки тепловой энергии.

Таким образом, измельчение необходимо в первую очередь для повышения эффективности извлечения из угля гуминовых веществ, а также для дальнейшего использования твёрдой мелкодисперсной фракции угля при приготовлении ВУТ.

## Получение водоугольного топлива

Создание ВУТ является развитием технологии получения водоугольных суспензий (ВУС), которая была разработана в России в 1950–1960-е годы для сжигания обводнённой угольной мелочи. ВУТ представляет собой дисперсную систему, состоящую из воды, мелкодисперсного угля и химических добавок, в которой в качестве горючей основы выступают энергетические и неэнергетические угли.

Идея использования ВУТ взамен нефтепродуктов была распространена в начале 1970-х годов в Китае, Японии, Швеции, США и других странах в период мирового нефтяного кризиса. В настоящее время применение ВУТ наиболее широко отмечено в Китае и Японии. В мегаполисах Китая уже запрещены строительство и эксплуатация котельных, функционирующих на твёрдом угле, а Государственной программой правительства Китая предусмотрен поэтапный перевод предприятий с нефтегазового топлива на водоугольное.

Сегодня в Китае тематикой ВУТ занимаются три исследовательских центра, создан Государственный центр водоугольных технологий. Если в 2001 г. в этой стране ежегодно производилось и потреблялось более 2 млн тонн ВУТ, то в 2006 г. – уже около 15 млн тонн, что равноценно производству 10–12 ГВт электрической энергии; к 2020 г. производство ВУТ доведено до рекордной цифры – 100 млн тонн в год [13].

Одна из важных особенностей технологии ВУТ – приготовление подходящей суспензии, имеющей высокую концентрацию угля, низкую вязкость и хорошую устойчивость к осаждению. ВУТ должно обладать превосходной текучестью и стабильностью при обращении с ним в процессах приготовления, транспортировки, хранения, распыления и сжигания. Поскольку ВУС – это твёрдая и жидкая смесь, многие факторы (плотность твёрдого вещества, форма частиц, объёмная доля твёрдого вещества и др.)

и характеристики границы раздела твёрдое вещество / жидкость (межфазный потенциал, межфазное натяжение, поверхностные адсорбционные свойства добавок и др.) в значительной степени влияют на свойства ВУТ [14].

ВУТ представляет собой однородную вязкую суспензию при хранении, транспортировке и сжигании. Оно должно находиться в однородном состоянии для получения материала в виде суспензии, которую можно распределять по трубам для решения проблем транспортировки. Одним из преимуществ ВУТ являются физические свойства, сходные с мазутом. Благодаря текучести ВУТ для его сжигания можно использовать мазутную горелку, немного изменив её.

Технология получения ВУТ обеспечивает более высокую безопасность по сравнению с другими методами переработки угля. Суспензия из смеси воды и угля свободна от некоторых основных проблем, связанных с применением твёрдого угля, – образования порошковой пыли и вероятности самовозгорания при хранении и транспортировке. ВУТ может быть изготовлено из низкосортных углей [15].

На рисунке 6 представлен общий вид установки, обеспечивающей мокрый помол бурого угля до размеров



Рисунок 6 – Установка мокрого помола бурого угля

частиц менее 50 мкм. Мокрое измельчение значительно снижает пылеобразование, взрыво- и пожароопасность.

С целью определения оптимального времени обработки бурого угля в установке мокрого помола для получения твёрдой фракции 0–100 мкм, а также для дальнейшего анализа образованной суспензии осуществлялось измельчение исходного материала. В установку было загружено 80 кг бурого угля фракции 0–12 мм и добавлено 200 л водопроводной воды. Соотношение полезного ископаемого к воде по массе составило 40 %. Отбор проб производился через 5, 10, 15 мин.

Информация о твёрдой мелкодисперсной фракции угля, содержащейся в суспензии на выходе из установки после 15 мин обработки, представлена на рисунке 7. Данные определены с помощью лазерного прибора Analysette 22 NeXT, предназначенного для измерения размера частиц.

Из диаграммы видно, что при обработке бурого угля в течение 15 мин размер частиц находится преимущественно в диапазоне 10–30 мкм. Следует предположить, что изменение времени обработки повлечёт за собой и изменение фракционного состава бурого угля в получаемой суспензии.

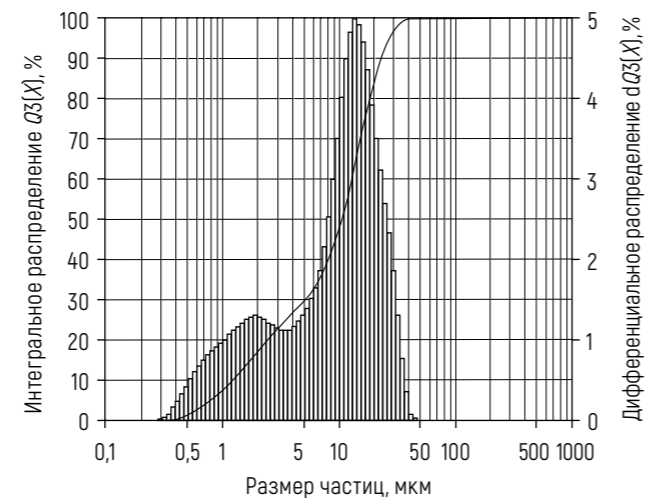


Рисунок 7 – Фракционный состав измельчённого бурого угля

### Выводы и дальнейшие направления исследования

Результаты работы показывают возможность использования установки мокрого помола для измельчения бурого угля до необходимого размера и получения ВУС с требуемыми характеристиками. Размер твёрдой фракции

бурого угля находится в диапазоне 0–100 мкм. Из ВУС извлекаются гуминовые вещества и часть макро- и микро-элементов, применяемые в дальнейшем при создании жидких органических удобрений. Оставшаяся после извлечения твёрдая мелкодисперсная фракция угля является основой при производстве высококачественного и экологически более чистого ВУТ.

Следует предположить, что изменение параметров работы установки (время обработки, соотношение количества бурого угля и воды, добавление присадок) позволит варьировать фракционный состав твёрдых частиц бурого угля, тем самым влияя на эффективность выделения из него гуминовых веществ, а также на свойства получаемого ВУТ. Установление данных зависимостей может послужить целью дальнейших исследований.

### Литература

1. Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьяна Горка, 12 сент. 2020 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – 516 с.
2. Юницкий, А.Э. Пищевая солнечная энергетика / А.Э. Юницкий, В.В. Василевич // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы IV междунар. науч.-техн. конф., Марьяна Горка, 18 сент. 2021 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2022. – С. 359–371.
3. Алехнович, А.Н. Энергетические угли: учеб. пособие / А.Н. Алехнович. – Челябинск: Цицеро, 2016. – 164 с.
4. Coal and Lignite Domestic Consumption [Electronic resource]. – Mode of access: <https://yearbook.enerdata.net/coal-lignite/coal-world-consumption-data.html>. – Date of access: 12.06.2022.
5. Ерёмин, И.В. Петрография и физические свойства углей / И.В. Ерёмин, В.В. Лебедев, Д.А. Цикарев. – М.: Недра, 1980. – 236 с.
6. Курмазова, Н.А. Комплексное использование минерального сырья (на примере Татауровского месторождения бурых углей) / Н.А. Курмазова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 12. – С. 121–126.
7. Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам: ГОСТ

25543-2013. – Взамен ГОСТ 25543-88; введ. 01.01.2015. – М.: Стандартинформ, 2019. – 16 с.

8. Гуминовые вещества в биосфере / отв. ред. Д.С. Орлов. – М.: Наука, 1993. – 237 с.
9. Попов, А.И. Гуминовые вещества: свойства, строение, образование / А.И. Попов; под ред. Е.И. Ермакова. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2004. – 248 с.
10. Кононова, М.М. Органическое вещество почвы, его природа, свойства и методы изучения / М.М. Кононова. – М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1963. – 314 с.
11. Голубков, В.А. Использование каменного угля в качестве источника гуминовых кислот / В.А. Голубков, Е.П. Ворожцов, С.В. Бортников // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2020. – № 1-1 (40). – С. 196–200.
12. Топливо твёрдое. Методы определения выхода гуминовых кислот: ГОСТ 9517-94. – Взамен ГОСТ 9517-76; введ. 01.01.97. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1996. – 9 с.
13. 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.
14. Effect of Compound Inorganic Nano-Stabilizer on the Stability of High Concentration Coal Water Mixtures / Renfu Xu [et al.] // Fuel. – 2006. – Vol. 85, iss. 17–18. – P. 2524–2529.
15. Putra, R. An Overview of Coal Water Mixture (CWM) as New Unconventional Energy Potency, and Indonesia Coal Fields for Case Studies [Electronic resource] / R. Putra, J. Alibazah, D. Umar. – 2013. – Mode of access: [https://www.searchanddiscovery.com/documents/2013/80333putra/ndx\\_putra.pdf](https://www.searchanddiscovery.com/documents/2013/80333putra/ndx_putra.pdf). – Date of access: 18.07.2022.

# Методология мониторинга качества и плодородия почв виноградных агроценозов на основе мультиспектральных космических данных

УДК 629.785:528.8.04

**Гришин И.Ю.<sup>1</sup>,**  
доктор технических наук,  
профессор,  
член-корреспондент РАН

**Тимиргалеева Р.Р.<sup>1,2</sup>,**  
доктор экономических наук,  
профессор,  
член-корреспондент РАН

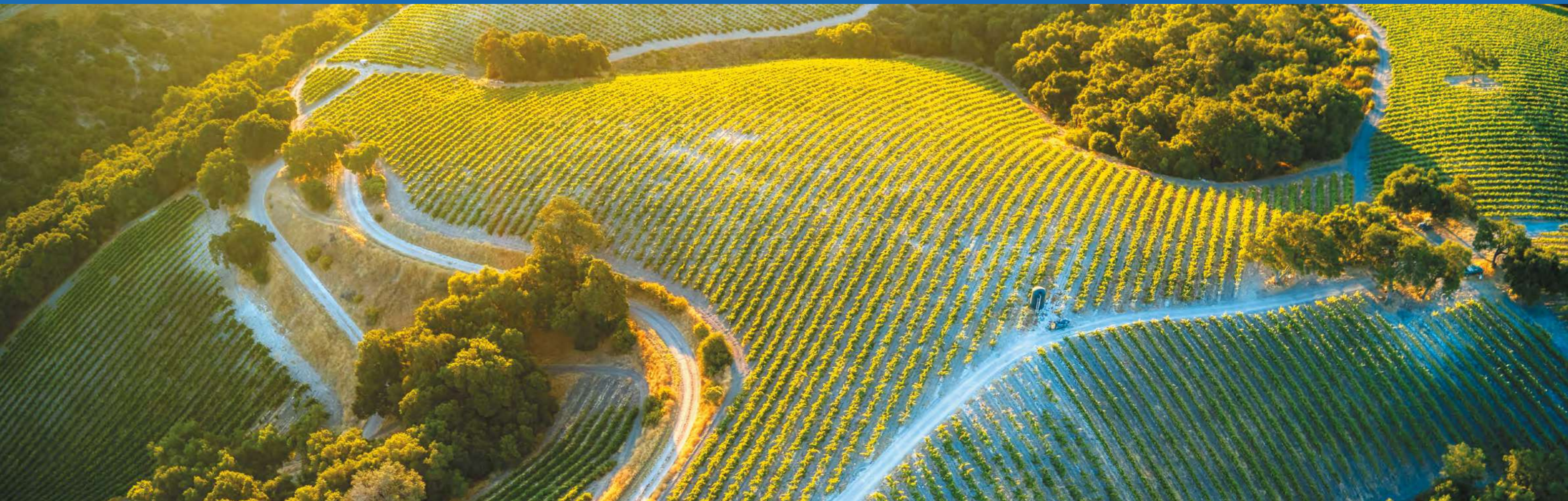
<sup>1</sup> Филиал Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, г. Севастополь, Крым

<sup>2</sup> Гуманитарно-педагогическая академия Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского, г. Ялта, Крым



Рассмотрены пути разработки и внедрения технологий комплексного информационного обеспечения и мониторинга крупных сельхозплощадей. Данные инновации нужны для получения базовых тематически ориентированных средств решения задач управления устойчивым развитием территорий. Такой процесс предполагает задействование результатов космической деятельности на Земле и в условиях ЭкоКосмоДома (ЭКД). Применение этих технологий позволит при создании набора задач мониторинга с использованием результатов космической деятельности, получивших название «базовые элементы», регламентировать разработку методик контроля содержания гумуса в почве. Подобный подход будет способствовать сокращению времени, необходимого на разработку базовых элементов, а также созданию на их основе системы космического мониторинга для решения задач в разных отраслях экономики. Представлена методика анализа плодородия почв на примере виноградных агроценозов, предполагающая определение содержания гумуса дистанционными способами, которые основаны на оценке спектральных характеристик почв. Исследование проведено с помощью съёмки цифровой камерой, а также спутниковой мультиспектральной аппаратурой. Предложенные методы определения содержания гумуса в почве обладают высокой точностью и могут применяться для создания автоматизированной системы мониторинга состояния почв, в том числе для ведения точного земледелия в замкнутых экосистемах.

**Ключевые слова:** геоинформационная платформа, гумус, дистанционное зондирование Земли, интеллектуальная система, мультиспектральная съёмка, ЭкоКосмоДом (ЭКД).



## Введение

В условиях ЭкоКосмоДома (ЭКД) имеется необходимость в производстве растительной продукции, когда в качестве основного субстрата для культивирования растений планируется использовать лёгкие почвогрунты [1]. Данные субстраты содержат около 10 % гумуса по объёму; эта характеристика – одна из важнейших, и её нужно постоянно контролировать для поддержания биоценоза в балансе. На текущий момент для анализа содержания гумуса в почве, а значит, её плодородия, применяются химические методы, которые являются точными, однако требуют физического отбора проб с участка, а также специального оборудования и дополнительного персонала. В настоящей статье для оптимизации процессов биотехнологического производства растительной продукции предлагается проводить мониторинг содержания гумуса на основе мультиспектральных данных. Указанная технология (при получении снимков из космоса) может быть с успехом использована в том числе для мониторинга состояния почв на поверхности Земли.

Сегодня спутниковые технологии наблюдения позволяют получать объективную количественную информацию о различных объектах и явлениях. Это, в частности, обуславливает создание новых информационных технологий и систем для изучения различных процессов, происходящих в биогеоценозах и агроценозах. В то же время следует отметить, что наблюдение за различными видами агроценозов имеет свою специфику, которая требует разработки специализированных информационных систем, предусматривающих сбор и анализ однородной по времени и пространству информации. Это особенно важно, когда речь идёт об изучении виноградных агроценозов, поскольку их главными элементами являются многолетние растения, а также почвы, способствующие получению качественного урожая. В данном случае необходимо создавать специальные информационные технологии мониторинга за подобными объектами, что позволит в перспективе формировать наблюдения, однородные по времени и пространству, и обеспечивать возможность проведения анализа, обладающего высокой степенью достоверности [2]. При этом должны быть определены различные характеристики исследуемых объектов, параметры которых могут быть восстановлены на основе данных дистанционных наблюдений и использованы для оценки их состояния и прогнозов развития. После того как начнёт функционировать космическое индустриальное ожерелье «Орбита» (КИО «Орбита»), на основе мультиспектральных космических данных возможно также

проведение постоянного мониторинга состояния почв на нашей планете.

Вопросам сохранения и восстановления плодородия агроценозов посвящено значительное количество трудов отечественных [3–7] и зарубежных [8–12] учёных и исследователей. Имеются работы, рассматривающие дистанционную оценку состояния почв; некоторые эксперты применяли результаты дистанционного зондирования Земли из космоса для мониторинга плодородия почв, почвенного картографирования, а также состояния виноградников.

В институтах Российской академии наук и Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова в последнее десятилетие предложены уникальные методы, алгоритмы и технологии работы со спутниковыми данными, что позволило решить существенное число научных задач и создать прикладные системы дистанционного мониторинга [13].

В [14] показано применение дистанционного зондирования для анализа терруара в виноградарстве и описаны методы объектного анализа изображений, пространственно-временного и гиперспектрального анализа и топоклиматологии.

Необходимо отметить, что в имеющихся публикациях отсутствуют комплексные исследования, направленные как на выявление и обоснование значимых факторов (показателей), которые обуславливают плодородие виноградных агроценозов, так и на разработку методов их оценки на основе данных дистанционного зондирования Земли из космоса, а также на построение комплексных моделей развития подобных агроценозов и организацию мероприятий по улучшению или сохранению почв в условиях юга России.

## Материалы и методы

Интенсивное использование земель часто ведёт к развитию неблагоприятных процессов (водная и ветровая эрозия, вторичное засоление и заболачивание, загрязнение почв промышленными выбросами и пестицидами), что существенно ухудшает свойства почвенного покрова. В связи с этим возникает необходимость слежения за показателями состояния почвы с целью её оценки, прогнозирования и картографирования, а также обоснования мероприятий по повышению плодородия. Мониторинг почвенного покрова включает систематические наблюдения за уровнем его загрязнения, процессами миграции химических веществ, динамикой показателей почвенного плодородия

в пространстве и во времени. Однако данный процесс не может ограничиться лишь исследованием проб почв, так как он неотделим от изучения других компонентов ландшафта, всех путей накопления загрязняющих веществ как в природных, так и в антропогенных комплексах.

В подавляющем большинстве случаев важнейшей комплексной характеристикой плодородия почвы служит содержание органического вещества в ней и его качественное состояние. При этом известно, что свойства, состав и количество органического вещества определяют биологические показатели плодородия почвы, наличие агрономически ценных почвенных микроорганизмов. Гумус составляет 85–90 % органического вещества почвы. Гумусовые вещества представляют собой тёмноокрашенные высокомолекулярные соединения, имеющие сложную химическую структуру. Типы почв различаются по содержанию гумуса, количеству и соотношению гуминовых кислот и фульвокислот, что существенно влияет на их отражательную способность в различных диапазонах электромагнитных волн.

Главным морфологическим признаком почвы считается её окраска, которая зависит от химического состава, и прежде всего от содержания гумуса. Имеется достаточное количество публикаций, посвящённых разработке и изучению способов оценки состояния растительного покрова методами дистанционного зондирования. Однако данные подходы ориентированы на применение в лабораторных

условиях и обладают высокой вычислительной трудоёмкостью для использования в реальных информационных системах мониторинга качества почв.

Именно поэтому в настоящей работе предпринята попытка разработки основ методологии оценки гумусированности на примере виноградных агроценозов. При этом оценка гумусированности проводилась как в лабораторных условиях, так и посредством космической спектральной съёмки.

Объектами исследований на первом этапе стали почвы виноградных агроценозов южных регионов России. Характеристика почвенного покрова и географические данные приведены в таблице 1.

В каждом случае отбор проб производился из верхнего слоя (глубина – 5–15 см). Содержание гумуса определялось по методу И.В. Тюрина в соответствии с ГОСТ 26213-91 «Почвы. Методы определения органического вещества».

Спектральные характеристики исследуемых почв определялись с помощью аппаратуры мультиспектральной съёмочной системы (спектральный диапазон – 460–860 нм) спутника «Канопус-В» (проведение съёмки синхронизировано со временем отбора образцов почв; использованы архивные данные), а также в лабораторных условиях с применением цифровой фотокамеры Canon DS126181. Фокусное расстояние объектива фотокамеры – 55 мм, разрешение – 4272 × 2848 пикселей, спектральный диапазон матрицы – 400–780 нм.

Таблица 1 – Характеристика участков и почвы

Номер образца	Хозяйство, участок	Описание почвы	Тип почвы
1	С. Благодатное, АПФ «Золотая балка», Балаклавский р-н г. Севастополя, Крым. Сорт винограда – «шардоне»	Рельеф – волнистая равнина; гумус (слой 0–20 см) – 1,2 %; материнская порода – делювий; вскипание HCl – с поверхности; засоление – нет; pH – 6,9; P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 1,4 мг/100 г почвы; K <sub>2</sub> O – 17,5 мг/100 г почвы; Ca – 19,4 мг/100 г почвы	Чернозём южный слабогумусный высококарбонатный
2	С. Вилино, АПФ «Золотая балка», Бахчисарайский р-н, Крым. Маточник сорта винограда «кобер»	Рельеф – понижение; гумус (слой 65 см) – 1,55 %; материнская порода – делювий; вскипание HCl – с поверхности; засоление – нет; pH – 8; P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 0,9 мг/100 г почвы; K <sub>2</sub> O – 20,1 мг/100 г почвы; Ca – 14,5 мг/100 г почвы	Чернозём южный слабогумусный
3	С. Вилино, АК «Магарач», Бахчисарайский р-н, Крым	Карбонаты (слой 0–60 см) – около 7 %, (слой 1,5 м) – 17–19 %; содержание гумуса в почвенном профиле – 2,5 %; pH – 8,1; объёмный вес почвы (верхний горизонт) – 1,29–1,33 г/см <sup>3</sup> ; общий азот (на глубине плантажа) – 0,12–0,13 %	Чернозём южный слабогумусный
4	С. Угловое, АФ «Черноморец», Бахчисарайский р-н, Крым. Сорт винограда – «пино-нуар», «каберне-совиньон»	Гумусовый горизонт – 80–90 см; гумус (слой 0–20 см) – 3,5 %; валовый азот – 0,21–0,3 %; гидролизующий азот – 5–11 мг/100 г почвы, что свидетельствует о высокой обеспеченности подвижным азотом	Чернозём обыкновенный мицеллярно-карбонатный предгорный



Для дешифрования из 22 полигонных участков отобраны четыре, не занятые растительностью. Кроме того, на момент отбора проб и космической съёмки отсутствовали атмосферные помехи.

Анализ данных архивов метеостанций показал, что поверхностные слои почвы всех четырёх исследуемых участков находились в воздушно-сухом состоянии. Такое обстоятельство позволило не учитывать влияние влажности почвы на её цвет при дешифровании и последующем анализе.

Образцы почв, предназначенные для фотографирования в лабораторных условиях, предварительно высушивались до воздушно-сухого состояния, а также измельчались до размера 0,2–0,25 мм.

При проведении съёмки применялось искусственное освещение со стабилизированным источником напряжения, обеспечивающим точность питающего напряжения  $\pm 1\%$ .

Образец почвы насыпался в стеклянную кювету, уплотнялся и выравнивался. Эталонный белый образец размещался рядом и в дальнейшем использовался для коррекции баланса белого при подготовке к съёмке и обработке снимка.

Полученные в ходе съёмки изображения в форматах RAW (цифровая фотокамера) и GeoTIFF (снимки со спутника) для последующего анализа обрабатывались с помощью программного комплекса SIPS и графического редактора Photoshop CS6, которые позволяют определять среднее значение яркости в спектральных каналах (R, G, B). Для повышения достоверности изображения выдавались автоматической серией по пять снимков, а затем усреднялись. Спектральные коэффициенты рассчитывались относительно яркости эталона, их усреднённые значения показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Спектральные характеристики почв

Номер образца	R	G	B	Содержание гумуса, %
1	75,6	65,1	51,2	1,2
2	76,1	67,3	53,6	1,55
3	64,3	52,9	42,1	2,5
4	62,9	56,8	45,7	3,5

## Результаты и обсуждение

Анализ данных, полученных в процессе эксперимента, целесообразно провести по итогам как лабораторной съёмки цифровой фотокамерой, так и дистанционного зондирования со спутника.

Из таблицы 2 можно сделать вывод, что по результатам лабораторных исследований наибольшее значение яркости наблюдается в красном диапазоне (R), самое низкое – в синем диапазоне (B). Сравнительные характеристики приведены на рисунке 1.

Анализ результатов статистической обработки данных лабораторных съёмок позволяет утверждать, что наибольшая корреляция отмечается между содержанием гумуса ( $H$  – humus) и яркостью красного канала цифрового

снимка, величина коэффициента корреляции составляет  $r = -0,93$ . Таким образом, канал R является самым информативным для мониторинга уровня наличия гумуса в почве.

Для оптимальной оценки гумусированности почвы получено аналитическое выражение (уравнение регрессии) зависимости содержания гумуса в почве от уровня яркости канала R:

$$H = -0,136R + 11,651. \quad (1)$$

При этом  $r^2 = 0,87$ , что свидетельствует о высоком уровне корреляции; стандартная ошибка  $m = 2,6$ . Значения величины  $H$ , рассчитанные по уровню R в соответствии с (1), приведены на рисунке 2.

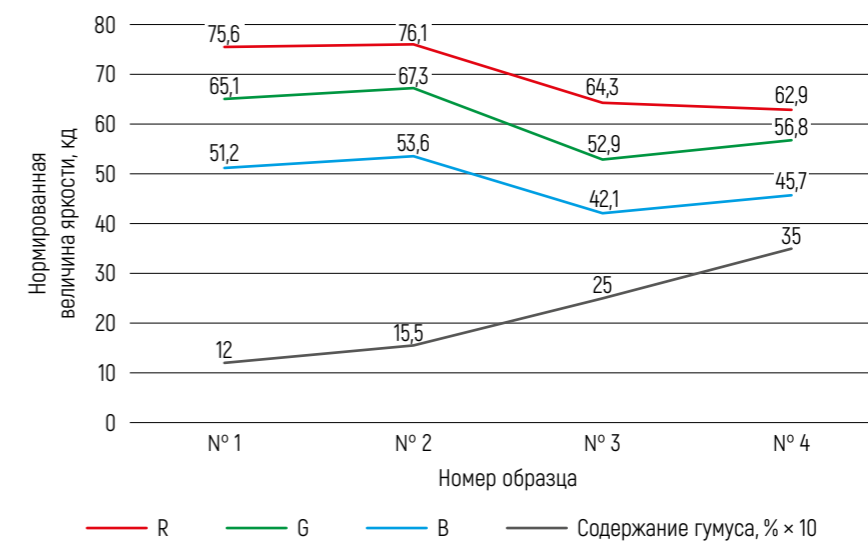


Рисунок 1 – Значения яркости каналов и содержание гумуса

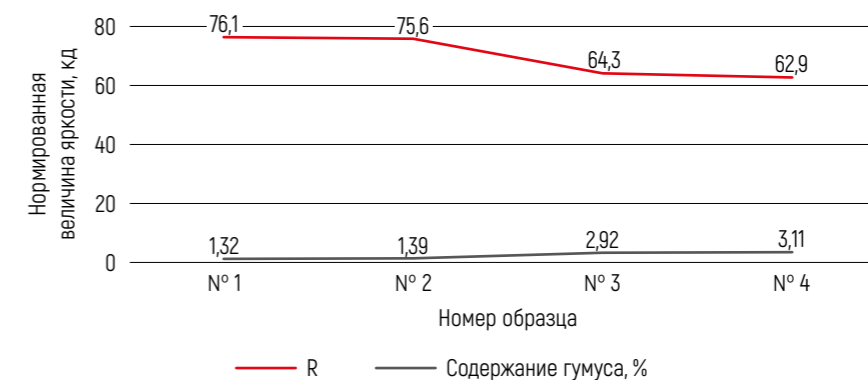


Рисунок 2 – Яркость канала R и расчётные значения содержания гумуса

Кроме того, посредством мультиспектральной аппаратуры спутника «Канопус-В» получены космические снимки анализируемых участков (рисунок 3).



Рисунок 3 – Космические снимки анализируемых участков:  
а – образец № 1; б – образцы № 2–4

С космическими снимками проведены аналогичные рассмотренным выше действия, связанные с предварительной обработкой фотографических изображений и статистическим анализом результатов. Получена следующая регрессионная зависимость:

$$H = -0,011R + 9,21. \quad [2]$$

Статистические показатели регрессионной зависимости:  $r^2 = 0,79$ , что свидетельствует о высоком уровне корреляции; стандартная ошибка  $m = 4,7$ , что позволяет утверждать о достаточно хорошем приближении реальных результатов рассчитанной регрессии (рисунок 4).

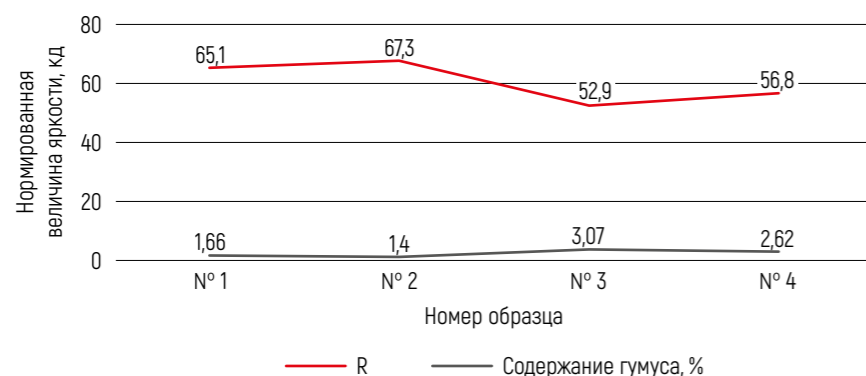


Рисунок 4 – Яркость канала R и расчётные значения содержания гумуса (на основании космических снимков)

Из анализа установленных данных следует, что погрешность величины содержания гумуса не превышает 20 % (для лабораторных снимков – 8,5 %). Такие значения указывают на возможность осуществления рассматриваемого дистанционного мониторинга.

Необходимо отметить, что в работе показаны только первые результаты дистанционного мониторинга плодородия виноградных агроценозов. В последующем планируется развернуть больше полигонов для отбора проб и дистанционной диагностики. Для определения спектральных свойств почв предполагается задействовать мобильный спектрометр, позволяющий производить замеры прямо в поле, исходя из предварительных прогнозов контроля заданных территорий требуемыми спутниками, а также прогнозов погоды. Более достоверные результаты могут быть достигнуты при использовании снимков, полученных с помощью специальной аппаратуры спутников, что даёт возможность выделить более узкие, особо информативные участки спектра.

### Выводы и дальнейшие направления исследования

В результате проведённых исследований может быть сделан вывод о достаточно высокой эффективности космических и лабораторных методов измерения спектральной отражающей способности почв для анализа их плодородия путём дистанционного определения содержания гумуса в них.

Разработана методика применения современной цифровой камеры для установления содержания гумуса в почве. Выявлено, что точность определения указанной величины практически соответствует аналитическим методам.

Однако при этом необходимо отметить важность проведения данных измерений непосредственно в поле, что возможно при использовании мобильных спектрометров. Показано, что для вычисления величины гумусированности почв в южных регионах России целесообразно задействовать спектр красного канала фотоснимка цифровой камеры.

Внедрение аналогичной методики для обработки и интерпретации космических снимков также позволяет с достаточной точностью выявлять процентное содержание гумуса в почве. Данный метод мониторинга следует считать наиболее оптимальным, поскольку он требует меньших трудозатрат для осуществления непрерывного наблюдения за состоянием почвенного покрова виноградных агроценозов и может быть положен в основу автоматического анализа качества почв.

Учитывая относительно небольшое количество оборудования, которое задействовано при мониторинге состояния почв, предложенную методику с успехом можно применить в условиях ЭКД. Анализ мультиспектральных показателей позволит проводить соответствующую дозировку гумуса, жидкого гумуса в различные зоны культивирования растений для получения оптимальных результатов.

В ходе дальнейших исследований целесообразно перейти от мультиспектральных методов мониторинга к гиперспектральным, что может повысить точность и качество наблюдений.

### Благодарность

Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 20-016-00220.

### 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. Grishin, I. Remote Sensing: The Method of GIS Application for Monitoring the State of Soils / I. Grishin, R. Timirgaleeva // E3S Web of Conf. – 2020. – Vol. 175, No. 06009. – P. 1–15.
3. Блохина, С.Ю. Применение дистанционного зондирования в точном земледелии / С.Ю. Блохина // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2018. – № 5. – С. 10–16.
4. Ергина, Е.И. Динамика термодинамических свойств и запасов энергии в гумусе почв Крымского полуострова /

Е.И. Ергина // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2012. – № 8 [1–2]. – С. 62–72.

5. Кирюшин, В.И. Проблема минимизации обработки почвы: перспективы развития и задачи исследований / В.И. Кирюшин // Земледелие. – 2013. – № 7. – С. 3–6.
6. Козубенко, И.С. Спутниковые данные в управлении агропромышленным комплексом региона / И.С. Козубенко, И.Ю. Савин // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2017. – № 5. – С. 9–11.
7. Кулик, К.Н. Методическая основа агролесомелиоративной оценки защитных лесных насаждений по данным дистанционного мониторинга / К.Н. Кулик, А.В. Кошелёв // Лесотехнический журнал. – 2017. – № 3. – С. 107–114.
8. Elbasiouny, H. Assessment of Environmental Sensitivity to Desertification, Soil Quality and Sustainability in an Area of the North Nile Delta, Egypt / H. Elbasiouny // Egyptian Journal of Soil Science. – 2018. – Vol. 58, No. 4. – P. 399–415.
9. Chervan', A. The Assessment of Resource Potential of Agro-Landscapes with Use of Geo-Information Systems on the Basis of Soil Cover Structure / A. Chervan' // The Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Soil Science Congress on "Environment and Soil Resources Conservation", Almaty, 17–19 Oct. 2018 / Soil Science Society of Kazakhstan Cooperation with the Federation of Eurasian Soil Science Societies; eds: A. Saparov, R. Kizilkaya, M. Mustafayev. – Almaty: Poligrafservis i K, 2018. – P. 19.
10. Bonfante, A. Refining Physical Aspects of Soil Quality and Soil Health when Exploring the Effects of Soil Degradation and Climate Change on Biomass Production: An Italian Case Study / A. Bonfante, F. Terribile, J. Bouma // SOIL Discussions. – 2019. – No. 5. – P. 1–14.
11. Von Braun, J. Land Use Change and Economics of Land Degradation in the Baltic Region / J. von Braun, A. Mirzabaev // Baltic Region. – 2016. – Vol. 8, No. 3. – P. 33–44.
12. Nature-Similar Technologies of the Biogeosystem Technique in Solving Global Social and Environmental Problem / A.P. Glinushkin [et al.] // Biogeosystem Technique. – 2018. – Vol. 5, No. 2. – P. 164–196.
13. Современные подходы и технологии организации работы с данными дистанционного зондирования Земли для решения научных задач / Е.А. Лупян [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9, № 5. – С. 21–44.
14. Hall, A. Remote Sensing Application for Viticultural Terroir Analysis / A. Hall // Elements. – 2018. – Vol. 14, No. 3. – P. 185–190.

# Использование кровель зданий различного назначения под размещение оранжерей: особенности и оптимальные решения

УДК 711.416-122

Юницкий А.Э.<sup>1,2</sup>,  
доктор философии транспорта

Давыдик М.М.<sup>2</sup>

Зыль Н.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО «Астроинженерные технологии»,  
г. Минск, Беларусь

<sup>2</sup> ЗАО «Струнные технологии»,  
г. Минск, Беларусь



Рассмотрены вопросы использования кровель зданий для выращивания пищевых продуктов. Обобщён опыт исследований и разработок в области создания технологий производства растительной и животной пищи в условиях искусственной среды обитания. Указаны направления поиска нового типа жилой среды. Предложены оригинальные подходы в организации архитектурно-планировочной структуры группы жилых домов, выполненных сблокированными в многоквартирный комплекс, названный «горизонтальный небоскрёб» (ГН), рассмотрены его конструктивные, инженерно-технические, технологические и планировочные особенности. Описаны условия, влияющие на возможность использования кровли при совмещении жилых, производственных и вспомогательных функциональных зон в комплексе ГН. Обозначена специфика функционирования и дальнейшего развития подобных систем. Дан анализ возможностей ГН как элемента застройки линейного типа, агрегированной с системами рельсо-струнного транспорта «второго уровня». Отмечена актуальность комплексного подхода, который может быть применён в том числе при проектировании космических поселений «ЭкоКосмоДом» (ЭКД) и их земных аналогов «ЭкоКосмоДом на планете Земля» (ЭКД-Земля).

**Ключевые слова:** безотходные технологии, вертикальные теплицы, жилой кластер, «горизонтальный небоскрёб», линейный тип расселения, рециклинг, сити-фермерство, Струнные технологии Юницкого (ЮСТ), теплицы на кровле, ЭкоКосмоДом (ЭКД), uCity.



## Введение

По сообщению журнала Science Daily, 23 мая 2007 г. в истории Земли свершился демографический переворот: городское население планеты превзошло по численности сельское. Журнал ссылается на работы учёных Университета штата Северная Каролина и Университета штата Джорджия. Исследование, проведённое совместно с экспертами ООН, показало, что именно в этот день доля городских жителей достигла 51,3 % совокупного населения Земли. В настоящее время из-за непропорционального распределения мирового богатства сельские местности зачастую имеют более низкий уровень жизни и при этом получают отходы жизнедеятельности городов – загрязнённый воздух, воду и почву [1]. Следует отметить, что на конец 2021 г. городское население составило 54 % против 46 % сельского [2]. Зафиксированный демографический сдвиг свидетельствует о негативной тенденции.

Сложившаяся ситуация требует создания эффективных систем расселения (поселения нового типа) – линейных городов uCity, построенных на базе транспортно-инфраструктурных решений ЮСТ (Струнные технологии Юникогго). uCity снижают зависимость домохозяйств от перенасыщенной городской жизни и открывают новые способы развития городов и сельских районов, что позволит устойчиво распределить плотность людей по всей поверхности планеты и облегчить бремя муниципальных и национальных правительств, испытывающих серьёзное демографическое давление со стороны перенаселённых районов. Подобные автономные системы расселения станут основой возведения жилых кластеров экваториального линейного города (ЭЛГ) как наземного структурного элемента программы безракетного освоения ближнего космоса uSpace и вынесения на экваториальную орбиту вредной составляющей земной индустрии.

Поселения нового типа базируются на концепции автономного существования и обеспечивают инфраструктурную, демографическую и продовольственную безопасность благодаря инновационному высокотехнологичному производству продуктов питания в условиях городской среды.

## Опыт использования инновационных технологий производства продуктов питания

Идея инновационного производства продуктов питания воплощается в использовании потенциальных градостроительных резервов (кровельного пространства зданий и сооружений) и применении нового способа ведения

сельского хозяйства (сити-фермерства) [3]. В самых крупных мегаполисах мира для испытания этой идеи имеют-ся своеобразные полигоны, развёрнутые на специально выделенных дефицитных пространственных резервах. Теплицы и оранжереи размещаются на кровлях строений различного предназначения и производят растительную пищевую продукцию в непосредственной близости от потребителя [4].

Оранжерея площадью 1900 м<sup>2</sup> на крыше бруклинского магазина Whole Foods Market (рисунок 1) в г. Нью Йорке, США, организованная фирмой Gotham Greens, ежегодно даёт более 45 тонн свежей зелени, а также защищает крышу от перегрева летом и охлаждения зимой. Теплица работает по технологии Aquaponics и производит продукты питания, применяя высокоэффективное инженерное оборудование. Светодиодное освещение, улучшенное остекление, тепловые завесы, пассивная вентиляция, солнечные батареи позволяют значительно экономить электрическую и тепловую энергию.

Сити-ферма Urbs in Horto (рисунок 2) в районе Пуллман г. Чикаго, США, размещена на крыше здания компании Method, производящей мыло. Оранжерея снабжает крупный район города продуктами, полученными без использования химикатов. Инновационная теплица находится в периферийной зоне мегаполиса и одновременно является досуговым центром и местом приложения труда для проживающего в пешей доступности населения, что считается одним из условий комфортной городской среды. Технология Aquaponics, применяемая при выращивании зелёной продукции на этой ферме, основана на процессах роста и развития растений под компьютерным контролем



Рисунок 1 – Теплица на крыше магазина Whole Foods Market в Бруклине, г. Нью Йорк, США [4]

и демонстрирует высокое качество продукции, гарантируя отсутствие в ней гербицидов, пестицидов и антибиотиков. Оранжерея площадью 16 000 м<sup>2</sup> (1,6 га) эквивалентна по урожайности 40,5 га земли.

Проект фермы в г. Коломб недалеко от г. Парижа, Франция, будет способствовать возникновению настоящего аграрного города. Гидропонные теплицы вдоль автомагистрали А86 за пределами французской столицы, став частью нового жилого района Magellan, обеспечат его жителей свежими продуктами круглый год. Концепт вертикальной теплицы (рисунок 3) создан парижской архитектурной студией Ilimelgo. Многоэтажная оранжерея включает в себя традиционное садоводство и инновационные технологии [5].



Рисунок 2 – Теплица на крыше здания компании Method в г. Чикаго, США [4]



Рисунок 3 – Концепт вертикальной теплицы, разработанный студией Ilimelgo, Франция [5]

## Особенности функционирования и развития производства растительной пищи в вертикальных фермах и теплицах на кровлях

Вертикальной фермой принято называть теплицу с многоуровневым размещением. При соблюдении требований к микроклимату она может находиться в любом помещении: на складе, территории старой фабрики, крыше здания, в подвале. Становится популярным обустроить вертикальные мини-фермы в жилых помещениях, а также выращивать микрозелень на дому. Примеры простых гидропонных систем для домашнего использования российского производителя «Здоровья КЛАД» приведены на рисунках 4, 5.



Рисунок 4 – Гидропонная установка для домашнего использования



Рисунок 5 – Четырёхмодульный проращиватель микрозелени для домашнего использования



Главные отличия вертикальных агропроизводств от традиционных тепличных хозяйств – многоярусное размещение и выращивание зелёных насаждений по методу контролируемой среды (controlled-environment agriculture – СЕА), что позволяет собирать урожай круглый год и значительно экономить ресурсы: свет, воду, электричество (рисунки 6, 7). Термин и идея принадлежат Д. Деспомье [6, 7]. Он подсчитал, что 30 % всех произведённых продуктов питания портятся при транспортировке и хранении, в то время как ведение сельского хозяйства в вертикальных фермах на территории городов значительно сокращает логистическую составляющую и сроки доставки зелёной продукции к столу потребителя.



Рисунок 6 – Применение метода СЕА в вертикальных фермах [8]



Рисунок 7 – Ведение сельского хозяйства по методу СЕА [8]

На рынке Российской Федерации в настоящее время работает компания iFarm, которая не только занимается строительством вертикальных ферм, но и сама производит экологически чистую продукцию [8]: различные виды салатов, пряные травы, овощи, ягоды (рисунок 8). На вертикальной ферме в г. Томске компанией применяются питательные фиторастворы, подобраны методы биозащиты салатов и овощей от болезней, проводится настройка полива и использования фитосвета.

Компания iFarm рассчитала параметры технологии (таблица 1), которые показывают эффективность строительства в широком спектре помещений производимых ею модулей вертикальных ферм.

В Сингапуре находится первая в мире коммерческая вертикальная ферма Sky Greens, где овощи и зелень выращиваются в 38-ярусных контейнерах, в которых растения получают достаточное количество воды, солнечного света и воздуха, давая урожайность, в 10 раз превышающую результаты в открытом грунте.

В Объединённых Арабских Эмиратах действует вертикальная ферма Badia Farms. Установка занимает 790 м<sup>2</sup> и без применения химикатов и пестицидов производит 18 видов листовых овощей, в том числе рукколу, горчицу и мяту.

Компания iFarm владеет 50 вертикальными фермами в г. Берлине, Германия, на которых выращивает 200 сортов овощей, фруктов, трав, зелени и грибов. В управлении фермами активно используются облачные технологии и анализ больших данных, помогающие адаптировать уровень освещённости, температуру, pH и состав питательных веществ индивидуально для каждого сорта растений [8].



Рисунок 8 – Выращивание клубники в вертикальных фермах компании iFarm, Российская Федерация [8]

Таблица 1 – Параметры технологии компании iFarm [8]

Характеристика	Значение			
	20	50	200	500
Площадь помещения, м <sup>2</sup>	20	50	200	500
Площадь выращивания, м <sup>2</sup>	47	117	478	1000
Высота потолков, м / количество ярусов в модуле	3/7	4,5/9	4,5/9	5/9
Общее число модулей (под рассаду и выращивание), шт.	4	10	41	115
Необходимая мощность энергопотребления (пиковая), кВт	7	19	77	220
Урожай зелени (среднее значение), кг/мес	130	300	1200	2500

### Развитие экоориентированных (биосферных) технологий на кровлях зданий

Движение современной цивилизации в сторону гармоничных отношений с окружающей средой и бережного отношения к ресурсам становится назревшей необходимостью. Всё чаще внимание исследователей и практиков привлекают идеи поселений нового типа – линейное расселение вдоль транспортных коридоров-русел [9].

Транспортно-инфраструктурные комплексы ЮСТ, работа над которыми ведётся под руководством инженера А.Э. Юницкого, согласно программе «ЭкоМир» [10] организуют систему транспортных русел – коммуникационно-инфраструктурную сеть uNet. На базе данных решений появятся линейные города uCity и ЭЛГ, возводимые с использованием экоориентированных (биосферных) технологий. Планировочной единицей поселений нового типа станет жилой кластер, состоящий из «горизонтальных небоскрёбов» (ГН) – заблокированных в линию многоквартирных малоэтажных зданий с набором инженерных систем, обеспечивающих обитателей всем необходимым для жизни, включая органические продукты питания, питьевую воду из артезианских скважин, электрическую и тепловую энергию, а также полный биосферный цикл переработки бытовых отходов.

Городское сельское хозяйство, организованное в жилых кластерах, позволит совершенствовать экономику и экологию городов, сохранить экологическую среду, улучшить архитектуру и снабдить население свежими, экологически чистыми продуктами питания. Следует выделить определённые направления в развитии «зелёных» технологий на кровлях зданий:

- совмещение вертикальных теплиц с торгово-офисными или жилыми сооружениями, что позволит использовать тепло и углекислоту, которые присутствуют в воздушных потоках, сбрасываемых в атмосферу через вытяжную вентиляцию, и перенаправить их в теплицы, сэкономяв

энергоресурсы, затрачиваемые на обогрев и получение углекислого газа для подкормки растений;

- возвращение городских отходов, в том числе канализационных стоков, в качестве вторичных ресурсов (рециклирование) в цепочку производства и потребления, т. е. отходы будут перерабатываться в продукты, материалы или субстанции независимо от того, служат они своим изначальным или каким-либо иным целям. Специфический вид рециклирования – переработка органических отходов для компостирования [11];

- переход к концепции модульности и соблюдению требований зонирования технологических помещений. При этом предполагается создание относительно изолированных пространств (например, отделение сеянцев, рассадное и овощные отделения), что позволит разбить площадь теплицы на автоматизированные регулируемые зоны [12];

- формирование автоматизированной системы управления для обеспечения взаимодействия оперативного персонала с системами нижних уровней, осуществления диспетчерского управления процессами и получения актуальных данных от датчиков в системах капельного полива, наблюдения за микроклиматом, форточной вентиляции, зашторивания, подкормки углекислым газом, досвечивания, а также отопления, рециркуляции воздуха и автоматизации режима микроклимата [12];

- применение многоярусного узкостеллажного размещения и гумусопоники, использующей в качестве питания растений жидкий биогумус, а не химические минеральные вещества и позволяющей осуществлять органическое растениеводство.

Органическую продукцию для жителей кластера (людей и животных) планируется выращивать в расположенных на кровлях ГН оранжереях (теплицах) в вертикальных фермах. В корневую систему растений будет подаваться раствор с питательными веществами, содержащимися в почвенном

гумусе, – жидкий биогумус. Такая технология является природной в отличие от традиционной природоподобной гидропоники на химических минеральных составах. Ведь эволюционно растения питаются веществами, которые образуются благодаря преобразованию нерастворимых органических и минеральных соединений в растворимые соли гуминовых кислот сообществом аэробных и анаэробных почвенных микроорганизмов, изначально живущих в любой природной плодородной почве. Поэтому в жидком биогумусе должны содержаться не только питательные вещества, но и сообщества тысяч видов агрономически ценных почвенных микроорганизмов, причём в большем количестве, чем, например, их насчитывается в тучном чернозёме (порядка триллиона микроорганизмов в литре гумуса). По аналогии с гидропоникой данная система названа «гумусопоника». В агрофермах линейных городов uCity будет использована именно гумусопоника – когда растения питаются жидким гумусом, где нерастворимые соли гуминовых кислот уже переведены в растворённую форму. Такие эксперименты успешно проходят в Крестьянском (фермерском) хозяйстве «Юницкого» (КФХ «Юницкого»), г. Марьино Горка, Беларусь.

Для того чтобы апробировать инновационные технологии ведения сельского хозяйства в поселениях нового типа, на базе КФХ «Юницкого» задуман масштабный проект – строительство многофункционального здания (рисунки 9–14),

в котором будут совмещены различные блоки, включая жилые, вспомогательные, технические, а также помещения для выращивания и переработки зелёной пищи. Цель эксперимента заключается в исследовании и утверждении преимуществ такого совмещения.

На данном объекте предполагается установить и протестировать инновационные технологии отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ОВК); очистки и повторного применения сточных вод; получения и использования гумуса из органических отходов и иловых накоплений сточных вод.

В ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Беларусь, проведены исследования и достигнуты положительные практические результаты испытаний отдельных технологий, которые планируется задействовать в указанном многофункциональном здании: выращивание тропических растений на облегчённом грунте [13], производство съедобных и лекарственных грибов [14], изготовление натуральных фитонцидсодержащих экстрактов, жидкого мыла [15], переработка органических отходов при помощи вермикомпостирования и выращивание с применением полученного субстрата растительной продукции (овощи, зеленные культуры, микрозелень) [16]. Используя современные технологии, на территории КФХ «Юницкого» культивируют лекарственные травы на площади около 1000 м<sup>2</sup> [17], а также разводят перепелов.

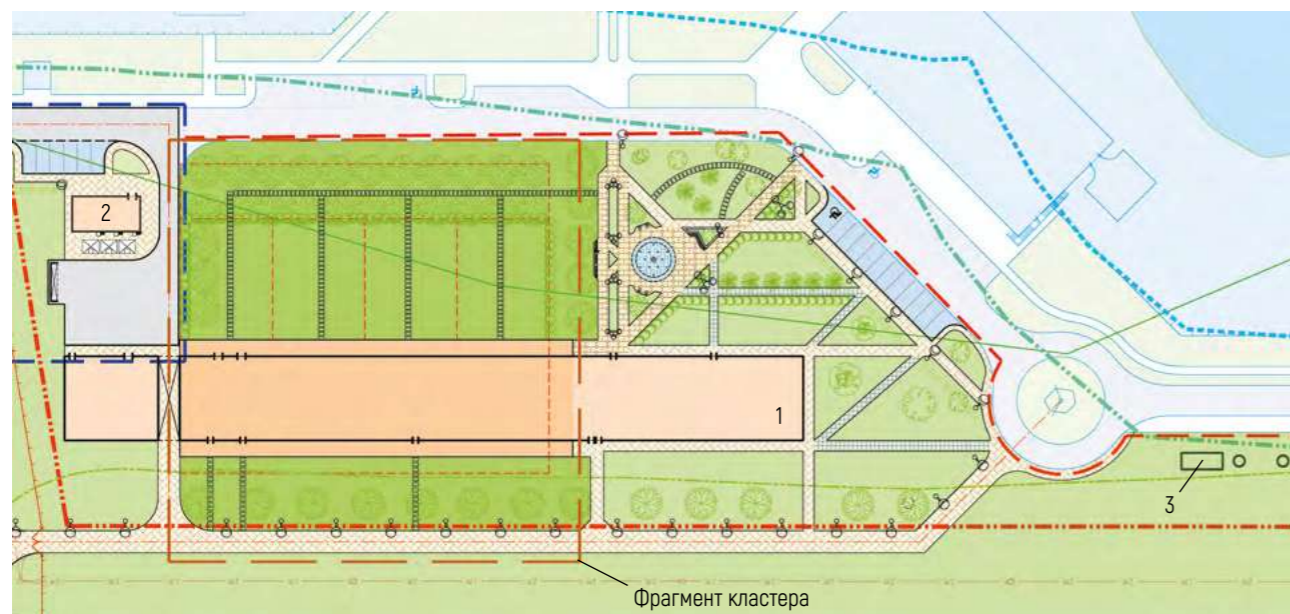


Рисунок 9 – Схема размещения многофункционального здания на территории КФХ «Юницкого» (вариант): 1 – многофункциональное здание; 2 – котельная; 3 – блок очистки стоков



Рисунок 10 – Общий вид многофункционального здания на территории КФХ «Юницкого» (вариант)



Рисунок 11 – Конструктивная схема многофункционального здания из сборных элементов (фрагмент, вариант)



Рисунок 12 – Общий вид второго этажа многофункционального здания (оранжерея, вариант)

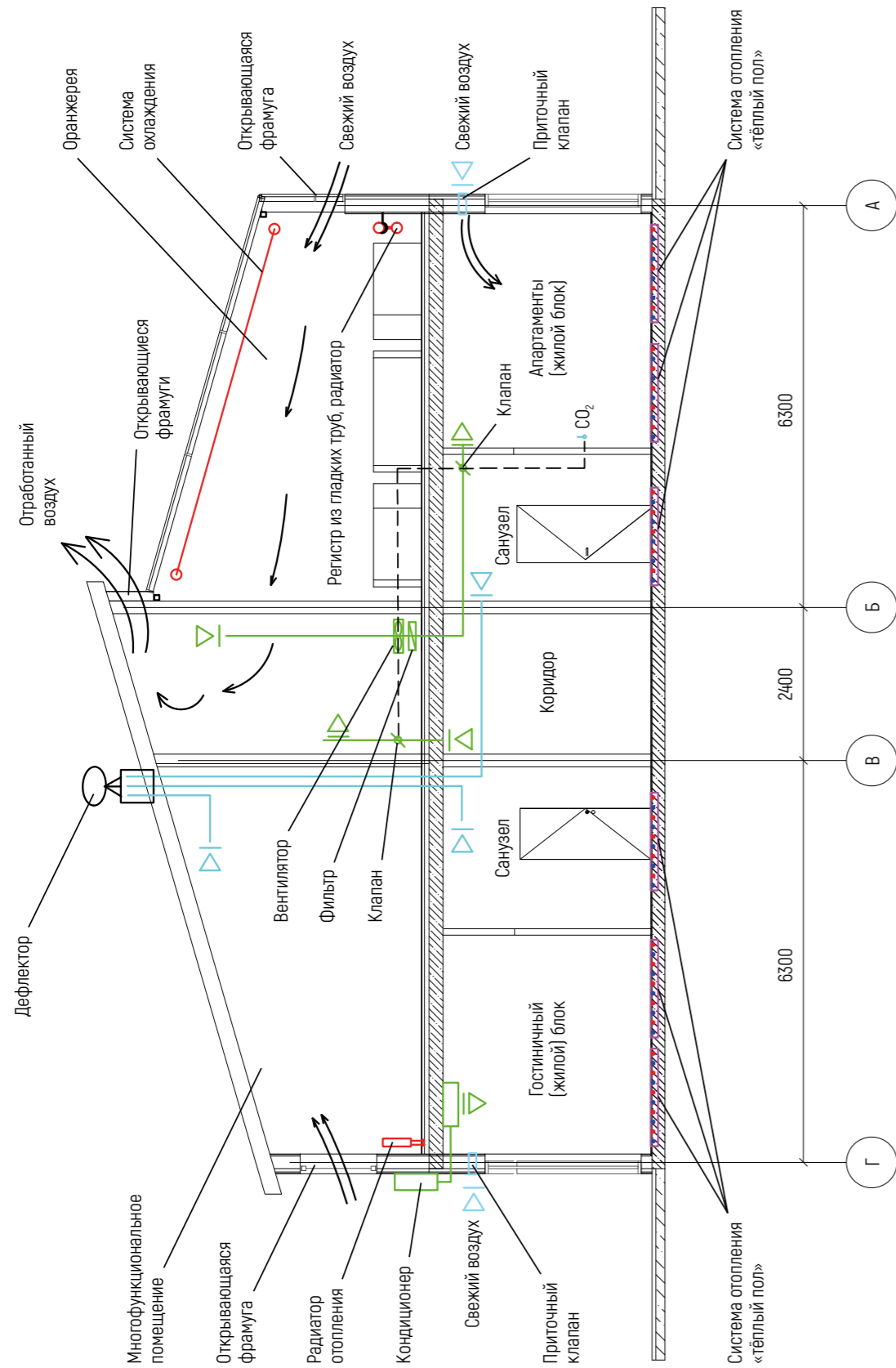


Рисунок 13 – Схема систем ОВК многофункционального здания (вариант)

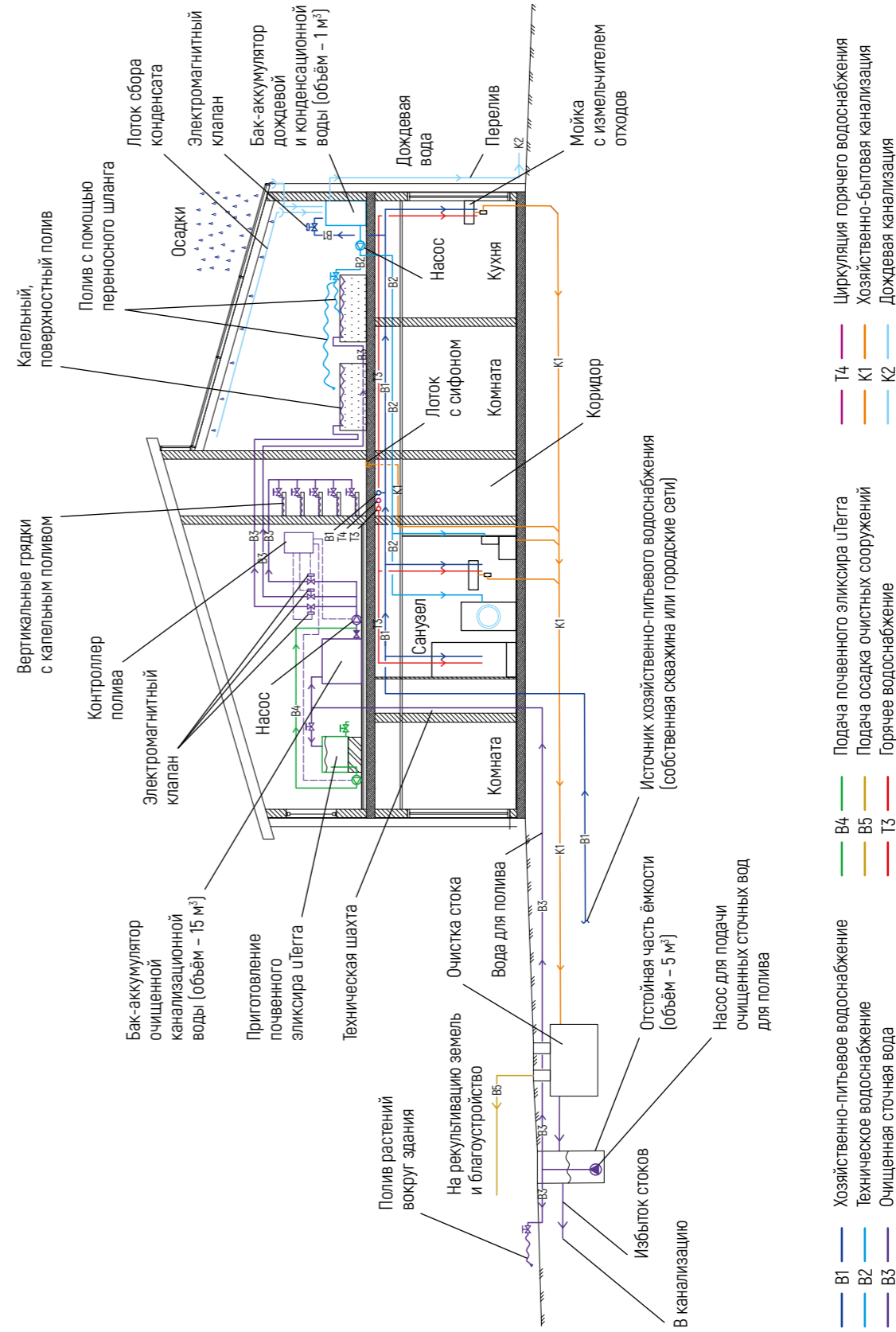


Рисунок 14 – Схема повторного использования воды в многофункциональном здании (вариант)

В проектируемой оранжерее разведены различные трубопроводные системы, транспортирующие:

- 1) водные растворы жидкого биогумуса (возможно регулирование концентрации веществ);
- 2) дождевые воды из аккумулирующих ёмкостей;
- 3) вторичные воды из ёмкостей очистки бытовых стоков;
- 4) питьевую воду;
- 5) углекислый газ для питания растений, извлечённый из дымовых выбросов теплоисточника.

Системы 1-3 могут быть совмещены друг с другом в комплекс капельного полива. Все инженерные сети обустроены в специальных зонах, идущих транзитом через многофункциональное здание, исполненное в идеологии ГН.

### Особенности и условия функционирования помещений, расположенных на втором этаже «горизонтального небоскрёба»

Второй этаж ГН в жилом кластере линейного города uCity будет арендован фермером, а жильцы дома, как члены кондоминиума, станут участниками процесса, получая свою часть дохода от выращенной органической продукции. Круглогодично работающая ферма сможет производить на крыше ГН достаточно пищевой продукции для обеспечения потребности каждой семьи, живущей в доме.

Рациональная планировка второго этажа приспособлена для функционирования оранжереи. Вход на крышу организован с торцов ГН. По центру здания устроен сквозной коридор с узкоколейной линией для автоматизированной грузовой тележки, транспортирующей поддоны с урожаем, гумусом, сельскохозяйственными отходами и вспомогательными материалами к грузовым лифтам, находящимся в торцах дома.

Пространство второго этажа ГН разделено на технологические участки и блоки:

- оранжерея (теплица) для выращивания сельскохозяйственных культур, лекарственных трав, декоративных растений, представляющая собой единое помещение, ориентированное на южную сторону, крытое остеклённой крышей для обеспечения максимального светопропускания;
- помещение для выращивания микрозелени в вертикальных фермах;

- помещения для микрклонального размножения растений (*in vitro*), в основе которого лежит уникальное свойство растительной соматической клетки – тотипотентность – способность клеток реализовать потенциал целого растения;

- участок для выращивания грибов (вешенки и др.), являющихся ценным диетическим продуктом с низкой калорийностью (38–41 ккал) и высоким содержанием многих веществ, необходимых организму человека. Вешенка неприхотлива к колебаниям температуры, уровню влажности и освещённости, проста в уходе, отличается быстрой всхожестью [18];

- участок для разведения перепелов и других мелких животных для обеспечения жильцов диетическими продуктами (яйца, мясо);

- участок для производства биогумуса и зоогумуса. Биогумус – биологически активное, экологически чистое и натуральное органическое удобрение, которое образуется в результате переработки красными калифорнийскими червями органических остатков в почве. Зоогумус – продукт жизнедеятельности личинок мух; представляет собой сыпучую мелкогранулированную массу от серого до коричневого цвета, имеющую слабый запах аммиака. Зоогумус применяется как органическое удобрение под все виды сельскохозяйственных культур, в лесоводстве и цветоводстве, а также для восстановления загрязнённых почв. Для получения жидкого биогумуса предлагается использовать совместно био- и зоогумус, а при необходимости и минеральные компоненты для регулирования содержания тех или иных элементов. Смесь биогумуса, зоогумуса и минеральных компонентов разбавляется водой в соотношении 1:10, затем подвергается диспергированию в кавитационной установке до состояния устойчивой эмульсии. Данная суспензия может быть отфильтрована и/или центрифугирована. На рисунке 15 приведена общая схема переработки твёрдых пищевых отходов с получением растительной продукции;

- помещения общественного назначения;
- хозяйственный блок;
- гардеробные, санузелы, подсобные помещения.

В вертикальных фермах, представляющих собой комплекс модулей, высаживают растения в условиях защищённого грунта и контролируемых параметров среды. С помощью таких технологий выращивают главным образом листовые и салатные культуры, а также микрозелень.

Различные виды микрозелени имеют существенную пищевую ценность не только для людей, но и для животных.

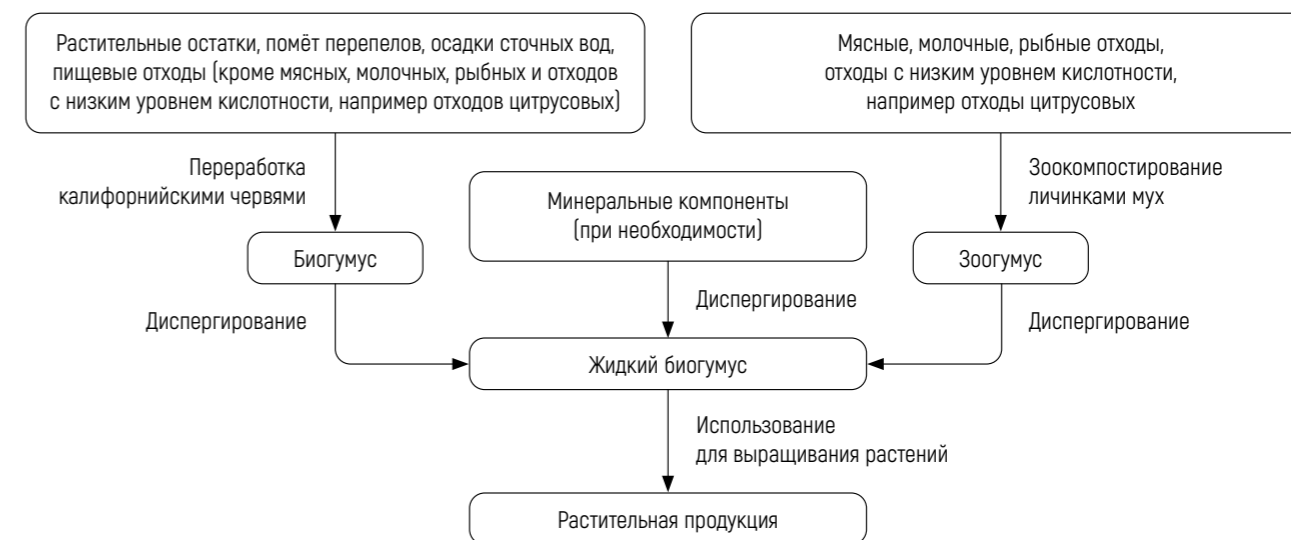


Рисунок 15 – Схема переработки твёрдых пищевых отходов для получения растительной продукции

Полученная на гумусопонике, она является натуральной органической пищей, богатой легкопереваримыми питательными веществами и витаминами, в технологии культивирования которой отсутствуют химические удобрения и химические средства защиты (пестициды, гербициды и др.). Гумусопонный корм из проростков пшеницы (т. е. выращенный по технологии гумусопоники) как зелёная кормовая добавка или индивидуальный корм является энергоёмким, хорошо усваивается, имеет высокое содержание протеина, белков, жиров, витаминов и других важных микронутриентов. Он принципиально отличается от других, поскольку животное съедает не только надземную часть, но и остатки семян, содержащие крахмал, а также корневую часть, богатую сахарами и белками.

Вне зависимости от времени года и природно-климатических условий (засуха, проливные дожди, жара, заморозки и др.) гумусопонные установки могут обеспечить и животных, и людей свежей зелёной пищей, что особенно важно при авитаминозе в зимний период.

Кроме вертикальных ферм в оранжерее на втором этаже ГН планируется устраивать высокие грядки круглой формы – дешёвые и простые в обслуживании, диаметром 1,91 м (периметр 6 м). Их легко разбирать и перемещать, обслуживать со всех сторон, на каждой грядке может быть высажена определённая культура.

При выборе растений учитываются пищевые предпочтения людей и особенности страны расположения ГН (региональные традиции потребления, сезонность местного производства, колебания цен, поддержание здорового образа жизни и др.).

Наиболее оптимальным для большинства ценных с пищевой и/или лекарственной точки зрения растений является субтропический климат, поэтому атмосферные условия оранжереи приближены к нему. Всё пространство для выращивания культур на крыше ГН представляет собой одну климатическую зону, характеристики которой подходят для всех растений, подобранных с учётом установленных климатических требований.

Для регулирования температуры и влажности на отдельных участках оранжереи предлагается применять механизмы местного контроля этих параметров: вентиляторы, ИК-обогреватели, светодиодные лампы, системы дополнительного орошения.

Климатические и технологические условия для выращивания культур в ГН планируется соблюдать в следующих пределах:

- температура воздуха: 20–28 °С днём, 16–25 °С ночью;
- температура поливной воды: 15–25 °С;
- влажность: 60–80 % (регулируется);
- тип ламп освещения: светодиодные светильники со спектром 380–780 нм;
- естественное освещение и досветка: 10 000 лк;
- световой день: 12–16 ч;
- кратность воздухообмена: 4–90 м³/ч на 1 м² (регулируется);
- содержание CO<sub>2</sub> в воздухе: 350–1000 ppm (0,03–0,1 %) в течение светового дня;

• установка в промышленных теплицах соответствующего количества осевых вентиляторов мощностью по 0,25 кВт каждый.

Система орошения планируется автоматизированной: запрограммирован объём и расписание капельного прикорневого полива растений очищенными сточными водами с определёнными характеристиками (таблица 2).

Объём поглощённого растениями углекислого газа в течение суток меняется и зависит от интенсивности освещения и качества света (спектрального состава светового потока). Наибольшая необходимость в CO<sub>2</sub> возникает в утренние и послеобеденные часы, когда процесс фотосинтеза обретает пиковые значения. При несоблюдении потребности растений и повышенной концентрации углекислого газа в тёмное время суток происходит замедление процессов роста и плодотворения вследствие подавления дыхания растений.

Существует несколько типов подачи углекислоты к растениям: прикорневая подкормка, в точке роста,

в ассимилирующей массе растения. Так как углекислый газ в два раза тяжелее воздуха и стремится скапливаться внизу теплицы, то целесообразно осуществлять введение CO<sub>2</sub> в наиболее высокой точке – в точке роста (при закрытых фрамугах).

На сегодняшний день наиболее эффективным и экологически чистым считается оборудование, которое подаёт в теплицы не дым, а очищенную от примесей углекислоту. Такой способ требует сеть газопроводов для распределения CO<sub>2</sub> по теплицам и систему автоматизированного управления подачей газа. Кроме этого, необходимы ёмкость для хранения жидкой углекислоты (типа УДХ, РДХ или ЦЖУ), газификатор, подогреватель и другое оборудование.

Внутри теплицы газ распределяется поконтурно, т. е. концентрация CO<sub>2</sub> в различных частях сооружения поддерживается на одном уровне. Независимой подачей газа в контуры теплицы управляют датчики, которые в свою очередь по команде от контроллера регулируют работу клапана, закреплённого за данным контуром [19].

Таблица 2 – Требования к сточным водам для полива растений

Показатель	Значение
В соответствии с постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 26 мая 2017 г. № 16 «О некоторых вопросах нормирования сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод»	
БПК 5 (биохимическое потребление кислорода), мг/л, не более	25
ХПК (химическое потребление кислорода), мг/л, не более	125
Взвешенные вещества, мг/л	30
В соответствии с ГОСТ 174.3.05-86 «Охрана природы. Почвы. Требования к сточным водам и их осадкам для орошения и удобрения» и применяемой технологией культивирования растительной продукции, ГОСТ 33045-2014 «Вода. Методы определения азотсодержащих веществ»	
Размер твёрдых частиц, мкм, не более	50
Азот общий, мг/л, не более	31
Фосфор общий, мг/л, не более	30
Калий общий, мг/л, не более	58
рН, ед.	6–8
Микроэлементы, тяжёлые металлы, загрязняющие вещества	С учётом их концентрации в почве и норм для возделываемых культур
Неприятные запахи, по пятибалльной шкале	Не более 3
В соответствии с СанПиН 2.1.7.573-96 «2.1.7. Почва, очистка населённых мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения»	
Число ЛПК (лактозоположительные кишечные палочки), допустимое содержание КОЕ на 1 л, не более	10 <sup>4</sup>
Патогенные микроорганизмы (по эпидпоказателям), количество на 1 л	Отсутствие
Жизнеспособные яйца геогельминтов (аскариды, власоглавы, анкилостомиды), содержание в 1 л	Отсутствие
Жизнеспособные яйца биогельминтов (онкосферы тениид, яйца фасциол), содержание в 1 л	Отсутствие
Жизнеспособные цисты кишечных патогенных простейших (цисты лямблий, балантидий, ооцисты криптоспоридий), содержание в 1 л	Отсутствие

## Выводы и дальнейшие направления исследования

Использование кровель зданий для выращивания пищевых продуктов имеет первостепенное значение при создании жилой застройки нового типа, принципы возведения которой могут быть использованы не только в линейных городах uCity, ЭЛГ, ЭкоКосмоДома на планете Земля (ЭКД-Земля), но и на космических орбитах в ЭкоКосмоДомах (ЭКД). Технологии получения растительной и животной пищи в условиях контролируемой среды обитания открывают принципиально другой уровень производства, распределения и потребления природных благ и обеспечивают продовольственную безопасность населения любой страны.

Новый тип жилой среды основан на соединении многих функций в общую архитектурно-планировочную структуру, где группы жилых домов, сблокированные в многоквартирный комплекс, называемый «горизонтальный небоскрёб», образуют один конструктивный, инженерно-технический, технологический и планировочный организм. Такие экодома при строительстве не отнимут у биосферы землю – из-под фундамента здания, даже если это песок пустыни, она будет поднята на кровлю, обогащена до плодородия тучного чернозёма гумусом, изготовленным из местных органических отходов, и сможет прокормить живущую в доме семью полноценной органической пищей практически без задействования дополнительных внешних биосферных ресурсов.

Выполнение условий, описанных в представленной статье, делает реальным использование кровель ГН и позволяет совместить жилые, производственные и вспомогательные функции в одно гармоничное целое. Являясь инновационным, такой способ создания нового типа жилой среды станет основой дальнейших разработок. Названные особенности функционирования ГН обусловят развитие подобных систем в качестве ключевого элемента жилой застройки поселений uCity и ЭЛГ на базе транспортно-инфраструктурных технологий ЮСТ.

## Литература

1. *Городское население Земли превысило сельское* [Электронный ресурс] // *Вокруг света*. – 2007. – Режим доступа: <https://www.vokrugsveta.ru/news/1094>. – Дата доступа: 20.05.2022.
2. *Счётчик населения Земли* [Электронный ресурс] // *Население земли*. – 2022. – Режим доступа: <https://countrymeters.info/ru/World>. – Дата доступа: 29.07.2022.

3. *Коваль, Н.В. Тенденции развития сити-фермерства в современных городах* / Н.В. Коваль // *Матрица научного познания*. – 2021. – № 4-2. – С. 65–79.
4. *Сембин, М.С. Опыт поиска градостроительных резервов для развития городского сельского хозяйства в современных мегаполисах* / М.С. Сембин, Ш.Ж. Суранкулов, Е.А. Ахмедова // *Градостроительство и архитектура*. – 2019. – Т. 9, № 3. – С. 151–158.
5. *Magellan's Urban Farm* [Electronic resource] // *Ilimego*. – Mode of access: <https://ilimego.com/fr/projets/cultiver/hautes-serres>. – Date of access: 01.07.2022.
6. *Despommier, D. The Vertical Farm: Feeding the World in the 21<sup>st</sup> Century*. – New York: Thomas Dunne Books, 2010. – 320 p.
7. *Despommier, D. The Vertical Farm: The Sky-Scraper as Vehicle for a Sustainable Urban Agriculture* / D. Despommier, E. Ellingsen // *Tall & Green: Typology for a Sustainable Urban Future: CTBUH 8<sup>th</sup> World Congress, Dubai*. – 2008. – P. 311–318.
8. *От Чикаго до Дубая: обзор вертикальных ферм* [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <http://project409440.tilda.ws/verticalfarmingworld>. – Дата доступа: 30.04.2022.
9. *От идей Сория-и-Мата до «Сибстрима» и «Стратегии-2030»: обзор отечественных и зарубежных проектов линейных городов и систем расселения* / И.М. Долинская [и др.] // *Universum: технические науки*. – 2021. – № 5-2 (86). – С. 63–74.
10. *Программа «ЭкоМир»* [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: [http://ecospace.org/images/Program\\_EcoSpace\\_RU.pdf](http://ecospace.org/images/Program_EcoSpace_RU.pdf). – Дата доступа: 05.06.2022.
11. *Задорожная, Л.Е. Мировая и отечественная практика безотходного производства посредством перехода к циркулярной экономике* / Л.Е. Задорожная // *Экономический вестник ИПУ РАН*. – 2020. – Т. 1, № 1. – С. 106–124.
12. *Прудцких, Н.В. Вертикальные теплицы: переход к концепции модульности* / Н.В. Прудцких // *Автоматизация, мехатроника, информационные технологии: материалы VIII междунар. науч.-техн. интернет-конф. молодых учёных, Омск, 16 мая 2018 г.* / Междунар. концерт Festo [и др.]. – Омск: ОмГТУ, 2018. – С. 32–35.
13. *Плодородие и физико-химические показатели лёгких «космических» почвогрунтов для ЭкоКосмоДома* / А.Э. Юницкий [и др.] // *Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы IV междунар. науч.-техн. конф., Марьяна Горка*,

18 сент. 2021 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2022. – С. 313–328.

14. Юницкий, А.Э. Лекарственные и съедобные грибы в условиях замкнутой экосистемы: культивирование, свойства, применение / А.Э. Юницкий, А.А. Костеневич // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы IV междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 18 сент. 2021 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2022. – С. 269–280.
15. Зыль, Н.С. Растения специального назначения и их использование в ЭкоКосмоДоме / Н.С. Зыль, Н.В. Баталевич, Е.А. Шахно // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 191–197.
16. Юницкий, А.Э. ЭкоКосмоДом как пространство для сохранения видового разнообразия тропической и субтропической флоры / А.Э. Юницкий, В.К. Павловский, Д.В. Феофанов // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 153–157.
17. Шахно, Е.А. Лекарственные растения для ЭкоКосмоДома: подбор, условия выращивания, область применения / Е.А. Шахно, Н.С. Зыль // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы IV междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 18 сент. 2021 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2022. – С. 283–291.
18. Махмутов, А.Н. Система автоматической подачи газа CO<sub>2</sub> в тепличные помещения / А.Н. Махмутов // Овощи России. – 2017. – № 3 [36]. – С. 64–69.
19. A Review on Study of Growth and Cultivation of Oyster Mushroom / J. Nongthombam [et al.] // Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology. – 2021. – Vol. 22, iss. 5–6. – P. 55–65.



# Применение электрогидравлического эффекта для обеззараживания сточных вод в условиях проживания людей в космосе

УДК 628.316.6

Юницкий А.Э.<sup>1,2</sup>,  
доктор философии транспорта

Першай Н.С.<sup>2</sup>,  
кандидат технических наук

Буглак П.А.<sup>2</sup>,

Лобазова И.Е.<sup>1</sup>,  
кандидат химических наук

Арнаут С.А.<sup>2</sup>,  
кандидат технических наук

<sup>1</sup> ООО «Астроинженерные  
технологии»,  
г. Минск, Беларусь

<sup>2</sup> ЗАО «Струнные технологии»,  
г. Минск, Беларусь



Проведён анализ существующих способов обеззараживания воды, указаны их достоинства и недостатки в разрезе возможности использования в космическом индустриальном ожерелье «Орбита» (КИО «Орбита»). Представлены результаты испытаний по обеззараживанию воды, контаминированной спорообразующими бактериями *Bacillus subtilis*, а также нативной озёрной воды на экспериментальной электрогидроударной установке UniThogg, разработанной ЗАО «Струнные технологии». Показана высокая эффективность применения электрогидравлического удара для обеззараживания, что позволит перейти на безреагентный метод и получить замкнутый цикл водопотребления в ЭкоКосмоДоме (ЭКД).

**Ключевые слова:** космическое индустриальное ожерелье «Орбита» (КИО «Орбита»), обеззараживание воды, сточные воды, ЭкоКосмоДом (ЭКД), электрогидравлический эффект, электрогидроудар, электрогидроударная установка.





## Введение

Очистка и обеззараживание воды в условиях проживания людей в космосе имеют свои особенности, которые объясняются высокой стоимостью доставки грузов, дефицитом места и др. Согласно данным [1] транспортировка 1 кг груза на Международную космическую станцию (МКС) обходится в 5000–6000 USD. В связи с этим на подобных объектах обязательным требованием является наличие замкнутой системы водоснабжения. Так, регенерация воды на станции «Мир» позволила снизить расходы на её доставку примерно на 300 млн USD в год. При этом, несмотря на замкнутость процесса водопотребления, безвозвратные потери воды составляли 7 % и восполнялись только путём её транспортировки с Земли.

На сегодняшний день для поддержания жизнедеятельности космонавтам разрешается расходовать 2,7 л воды в сутки. Годовое водопотребление на все нужды космической станции при численности экипажа шесть человек – около 9 м<sup>3</sup> [1]. На МКС реализована система очистки, включающая дистилляцию и йодирование [2], которая нуждается в доработке.

Космическое промышленное ожерелье «Орбита» (КИО «Орбита») – многоорбитальный транспортно-инфраструктурный и промышленно-жилой комплекс, охватывающий планету в плоскости экватора. Созданный в космосе для обслуживания земного человечества, он станет функциональным аналогом экваториального линейного города, а также плацдармом для защиты от космических угроз (в том числе метеороидных) и технологической платформой для экспансии земной цивилизации в дальний космос [3–5].

ЭкоКосмоДом (ЭКД) – неотъемлемая часть жилой и производственной инфраструктуры КИО «Орбита». ЭКД представляет собой замкнутую экосистему биосферного типа, в которой все жители должны не только получать сбалансированное питание, но и быть обеспечены безопасной питьевой водой, соответствующей самым жёстким гигиеническим требованиям и нормативам [5–7]. В таких условиях остро проявляется необходимость в создании эффективной

замкнутой системы водоотведения, водоочистки и затем водоснабжения жителей ЭКД качественной питьевой водой [8, 9].

В настоящее время применяются химические (реагентные), физические, а также комплексные методы обеззараживания. Отметим, что расположение КИО «Орбита» затрудняет доставку химических реагентов, антимикробных препаратов, антисептиков, поэтому наиболее предпочтительными способами получения воды хорошего качества могут выступать ультрафиолетовое излучение и электрогидроудар.

Результативной альтернативой традиционным методам обеззараживания в процессе разработки замкнутой системы очистки, предназначенной для реализации в ЭКД и его земном аналоге «ЭкоКосмоДом на планете Земля» (ЭКД-Земля), станет использование электрогидроударной установки (ЭГУ). Принцип её работы основан на электрогидравлическом эффекте (эффект Юткина) [10], сущность которого заключается в создании целенаправленного сверхвысокого гидравлического давления, приводящего к гибели даже спор *Bacillus anthracis* – возбудителей сибирской язвы [11].

## Анализ методов обеззараживания

Выбор того или иного способа обеззараживания зависит от типа воды, её объёма, дальнейшего назначения после очистки, концентрации загрязняющих веществ. На Земле наиболее распространены следующие методы:

- химический (применение различных реагентов и окислителей – хлора, диоксида хлора, гипохлорита натрия и др.);
- физический (термическая обработка, ультрафиолетовое излучение, воздействие ультразвука, электрического разряда и др.);
- комбинированный (физико-химический).

Принцип обеззараживания с использованием сильных окислителей, например активных ионов галогенпроизводных, основан на их внедрении в оболочку клетки микроорганизмов, проникновении внутрь и разрушении её структуры. Данный метод применяют на станциях централизованного

водоснабжения населённых пунктов. Однако он неэффективен по отношению к цистам лямблий. Кроме того, окислители приводят к образованию канцерогенов и токсических веществ. Главный недостаток этого способа обеззараживания – наличие в питьевой воде остаточного хлора, опасного для человека.

В условиях КИО «Орбита» такой метод не должен применяться в связи с опасностью протечки баллонов, высокой летучестью хлора, а также необходимостью осуществления регулярной доставки реагентов и окислителей на орбиту.

В космосе также нецелесообразно использование пероксида водорода. Основным механизмом его бактерицидного действия является образование супероксидных и гидроксильных радикалов, которые могут оказывать либо прямое цитотоксическое действие, либо опосредованное, приводящее к повреждению молекул ДНК, а в дальнейшем и к гибели бактериальной клетки. Указанные радикалы имеют больший бактерицидный эффект, чем исходный пероксид водорода. К недостаткам этого способа следует отнести важность поддержания постоянной температуры. Так, её понижение с 18–20 °С до 1–4 °С отрицательно сказывается на активности перекиси водорода, особенно при массивном заражении воды микроорганизмами [12].

Применение ультрафиолетовых лучей (рекомендуемый диапазон длин волн 200–280 нм) для обеззараживания воды до качества питьевой в последнее время набирает популярность в связи с тем, что данный метод эффективен по отношению к большинству вирусов и бактерий, в том числе к возбудителям холеры и тифа, вирусам гепатита и гриппа, бактериям дизентерии, кишечной палочке. УФ-спектр совпадает со спектром поглощения ДНК ( $\lambda_{\text{макс}} = 260 \text{ нм}$ ), разрывая водородные связи между комплементарными нитями ДНК и образуя димеры в молекуле ДНК, а в РНК – гидроксильное урацила. В результате затрудняется процесс репликации ДНК, что и становится причиной гибели клетки. Чем дольше воздействие УФ-света, тем сильнее повреждение. Средняя доза такого облучения на вводимых в эксплуатацию и проектируемых станциях обеззараживания воды в США, Канаде, Великобритании, Франции составляет 50–100 мДж/см<sup>2</sup> [13]. Этот физический метод имеет ряд достоинств: высокая эффективность, сохранение вкусовых качеств воды, отсутствие необходимости задействования реагентов. Однако существует и ряд недостатков: строгие требования к степени прозрачности среды (по показателю мутности), сложность конструкции при использовании в качестве промышленных установок обеззараживания, невозможность длительного хранения из-за риска повторного загрязнения. Стоит отметить, что при применении УФ-излучения

нужна тщательная подборка его дозы, чтобы предотвратить появление в воде каких-либо токсичных побочных соединений. Это связано с тем, что эффект обеззараживания достигается при гораздо меньших дозах бактерицидного излучения по сравнению с фотохимической трансформацией растворённых органических веществ. Применение УФ-излучения в условиях проживания людей на орбите Земли затруднено в силу необходимости регулярной доставки ламп для их замены (каждые 8000–12 000 ч работы), а также ввиду сложностей, связанных с процессом их утилизации [13].

К методам, основанным на изменении свойств объекта вследствие влияния на него электрических полей высокого напряжения, можно отнести озонирование и использование эффекта электрогидроудара.

Озон получают при воздействии тихого электрического разряда на кислород в специальных аппаратах-озонаторах. Электросинтез озона осуществляют в генераторе, который представляет собой излучатель, состоящий из двух электродов, разделённых диэлектриком. Окислительная способность основана на разрушении клеточных мембран и стенки, действию на окислительно-восстановительную систему бактерий и их протоплазму. Однако при использовании озона возникают проблемы технического и экологического характера: необходимость в больших производственных площадях, отдельном здании, мощной вентиляции в помещении; высокие требования к квалификации обслуживающего персонала; токсичность, взрывоопасность.

Электрические способы очистки считаются наиболее перспективными. Их суть заключается в преобразовании электрической энергии в другие виды, оказывающие влияние на объект очистки.

В электроволновых методах используют электромагнитную энергию различной частоты, например СВЧ-обработку, лазерное или ультразвуковое воздействие. Электростатические способы применяют энергию электрических полей высокого напряжения, и в частности электрогидроудар, основанный на электрогидравлическом эффекте [10]. В ряде работ показана результативность ЭГУ для очистки отходов животноводства от патогенной микрофлоры [10, 11, 14], балластных сточных вод, сбрасываемых в морскую среду [15, 16].

Электрогидравлический удар в воде, вызываемый электроимпульсами малой длительности (несколько микросекунд) при высокой мгновенной мощности (50–1000 МВт), приводит к появлению активных свободных радикалов, атомарных кислорода и водорода, соединений азота и простейших аминокислот. Осуществлению процесса способствуют воздух и другие газы, растворённые в воде. Микробная флора, в первую очередь бактериальная, при этом активно



гибнет, что связывают с ультразвуковым, ультрафиолетовым и рентгеновским излучением плазмы канала разряда, а также с мощным окисляющим действием атомарного кислорода [17].

Авторы [10, 18, 19] считают доминирующими дезинфицирующими факторами в ЗГУ ультрафиолетовое излучение и ультразвук, создаваемые электрогидравлическим разрядом, а не тепловой удар, сверхвысокое гидравлическое давление или химические вещества. Однако в [20] утверждается, что именно ударная волна, генерируемая при формировании плазменного канала, является наиболее важным фактором, ответственным за инактивацию микроорганизмов, а влияние УФ-излучения, химических окислителей и импульсных электрических полей незначительно. В [21, 22] также показано, что клеточная стенка бактерий повреждается ударной волной, генерируемой плазмой импульсного разряда.

Очевидно, что при обеззараживании воды электрогидравлическим ударом к гибели микрофлоры приводит комплекс факторов в зависимости от вида/штамма микроорганизма. Обработанная таким образом жидкость приобретает бактерицидность, не снижающуюся с течением времени. Обеззараживание происходит весьма интенсивно, а скорость процесса пропорциональна количеству и энергии импульсов, вызывающих электрогидравлические удары [23].

Один из главных плюсов использования электрогидродарных технологий в условиях космической жизни – экологичность, что продиктовано отсутствием химических веществ, побочных продуктов. Кроме того, наличие солнечной энергии позволяет получить дешёвую электроэнергию в достаточном количестве для питания системы водоочистки.

Безопасность питьевой воды в эпидемическом отношении определяется отсутствием в ней болезнетворных бактерий, вирусов и простейших микроорганизмов, её соответствием нормативам по микробиологическим и паразитологическим показателям [23]. В литературе описаны исследования по влиянию электрогидродара на различные неспорообразующие микроорганизмы, включая бактерии группы кишечной палочки, основной представитель которой – *Escherichia coli* [18, 19, 24, 25]. Однако бактерии, обладающие способностью к спорообразованию, при наступлении неблагоприятных для жизни условий образуют плотную оболочку под внешней мембраной. В данном случае споры не являются способом размножения бактерий; вместе с тем уменьшенный объём за счёт частичной потери воды позволяет им выживать и эффективнее расселяться. Споры могут длительное время находиться в состоянии покоя; характеризуются низким уровнем метаболической активности

и отличаются необычайно высокой термостойкостью, сохраняя жизнеспособность при кипячении в течение нескольких часов, а также повышенной устойчивостью к ультрафиолетовому излучению и механическому воздействию. С учётом вышеизложенного можно сделать вывод, что использование электрогидродара актуально для обеззараживания воды, в том числе содержащей спорообразующие микроорганизмы.

Цель настоящей работы – исследование влияния электрогидродара на гибель спорообразующих микроорганизмов на примере тест-культуры *Bacillus subtilis* (*B. subtilis*).

Согласно поставленной цели решались следующие задачи:

- определение влияния электрогидродара на гибель микроорганизмов;
- установление зависимости степени обеззараживания от времени обработки и исходной концентрации клеток микроорганизмов в растворе.

## Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования выбрана грамположительная спорообразующая почвенная бактерия *B. subtilis* штамм Г ВКМ В-911 (рисунок 1), взятая из собственного банка микроорганизмов лаборатории отдела биотехнологий ЗАО «Струнные технологии» [5].



Рисунок 1 – Рост колоний *B. subtilis* в чашке Петри

*B. subtilis*, или сенная палочка, – микроорганизм, населяющий почву, кишечник животных и человека, а также встречающийся в воде и воздухе, является одним из наиболее изученных представителей рода *Bacillus*, которые способны к спорообразованию либо образованию эндоспор, расположенных в центральной части материнской клетки и имеющих овальную форму с многослойной труднопроницаемой оболочкой.

Как правило, исследуемый инокулят микроорганизмов содержит споры, вегетативные клетки и вегетативные клетки с эндоспорами в различном соотношении (рисунок 2). При негативном воздействии наименее устойчивы вегетативные клетки, а наиболее жизнеспособны споры, поэтому для эксперимента использовали состаренные 3–4-суточные культуры (за такой период бактерии, предположительно, проходят все стадии развития).

Эффективность применения электрогидродара, реализованного в ЗГУ UniThorr (разработка конструкторского бюро «Опытное оборудование» ЗАО «Струнные технологии»), изучали в воде, искусственно загрязнённой спорообразующими микроорганизмами до концентрации, которая соответствует содержанию бактерий в сточной воде.

Наработка инокулята тест-культуры *B. subtilis* штамм Г ВКМ В-911 осуществлялась в лаборатории отдела биотехнологий периодическим методом [26].

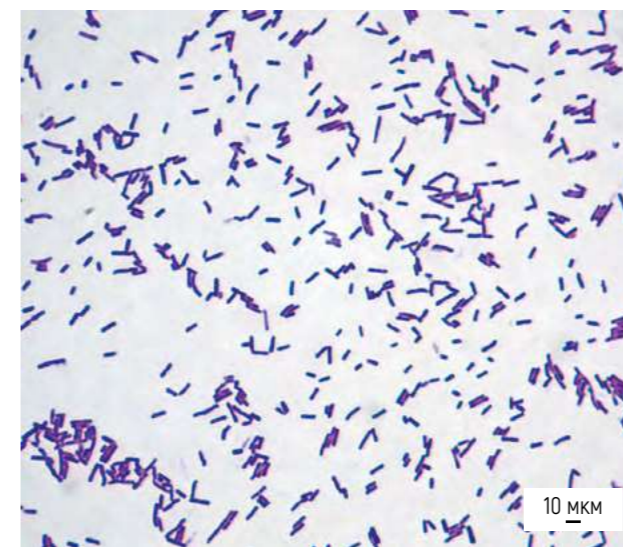
Культуральную жидкость с различной исходной концентрацией микроорганизмов подвергали воздействию

электрогидродара в интервале времени от 6 с до 40 мин; энергия в импульсе – 400 кДж. Параметры работы ЗГУ: напряжение – 45 кВ, сила тока – 15 кА, ёмкость зарядного конденсатора – 0,4 мкФ, объём рабочей камеры – 9 л. Отбор проб воды до и после воздействия выполняли асептическим способом. Кратность повторения каждой пробы была равна трём. Посев на поверхность плотной агаризованной среды осуществляли методом Коха, инкубировали и проводили подсчёт выросших колоний на питательном агаре [26]. О степени обеззараживания воды судили по изменению количества колониеобразующих единиц (КОЕ) в результате воздействия ЗГУ. Общая численность микроорганизмов в исходных образцах находилась в диапазоне  $10^4$ – $10^5$  КОЕ в 1 мл раствора.

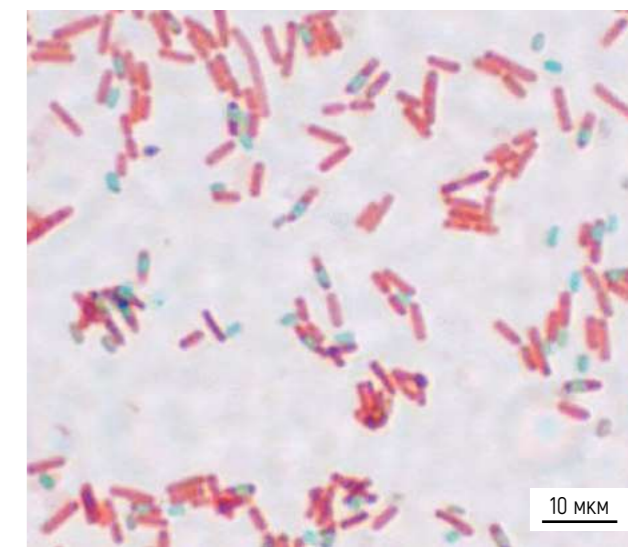
Далее исследовали озёрную воду, отобранную в экопарке «Акварель» (г. Марьина Горка, Беларусь). Этот искусственно созданный водоём выбран как наиболее вероятный прототип замкнутой водной экосистемы.

## Полученные результаты

Эксперименты по определению влияния электрогидродара на гибель микроорганизмов выбранной тест-культуры с концентрацией  $4,5 \times 10^5$  КОЕ/мл, проведённые на установке UniThorr, выявили уменьшение общего микробного числа (ОМЧ) на один порядок через 10 мин воздействия.



а)



б)

Рисунок 2 – Микроорганизмы *B. subtilis*, окрашенные раствором метиленового синего: а – по методу Леффлера; б – по методу Пешкова (вегетативные клетки имеют красный цвет, споры – зелёный/синий)

Увеличение времени работы установки до 40 мин приводит к снижению ОМЧ на 99 %, однако не позволяет достичь полного уничтожения микроорганизмов (рисунок 3).

При более высокой исходной концентрации микроорганизмов в растворе –  $4,5 \times 10^5$  КОЕ/мл – интенсивный обеззараживающий эффект наблюдается при экспозиции до 10 мин, далее зависимость ОМЧ от времени обработки имеет линейный характер (рисунок 3). В промежутке с 10-й по 15-ю мин обработки значение ОМЧ возрастает, а затем отмечается его дальнейшее снижение. Данный феномен можно объяснить так называемым эффектом бактериального взрыва. Возможность его возникновения описана в [10]. Такое явление обусловлено тем, что первоначально уничтожаются самые слабые микроорганизмы и в растворе остаются наиболее устойчивые к внешним факторам. Кроме того, при электрогидродаре увеличивается содержание соединений азота и других питательных веществ в водной среде. После прекращения работы ЭГУ и при наличии питательных элементов (в том числе азота) происходит бурный рост выживших и наиболее сильных представителей бактериальной колонии.

Остаточное значение ОМЧ при обработке электрогидродаром контаминированной воды с исходной концентрацией микроорганизмов  $5,5 \times 10^4$  КОЕ/мл составляет менее 50 КОЕ/мл, что удовлетворяет требованиям СанПиН 10-124 [23] к качеству питьевой воды по данному показателю. Однако был отмечен менее выраженный эффект бактериального взрыва на 10-й мин обработки (рисунок 4).

Снижение исходной концентрации микроорганизмов с  $5,5 \times 10^4$  КОЕ/мл до  $3 \times 10^3$  КОЕ/мл показало, что наиболее

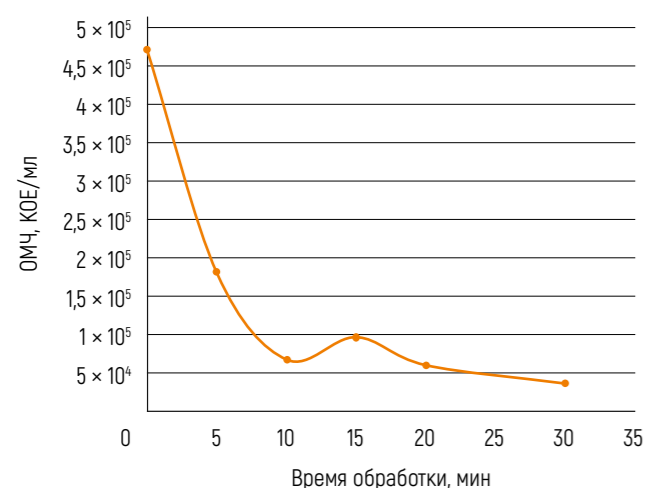


Рисунок 3 – Влияние времени обработки на ОМЧ при исходной концентрации микроорганизмов  $4,5 \times 10^5$  КОЕ/мл

интенсивный обеззараживающий эффект наблюдается уже при времени обработки в течение первых 5 мин (рисунок 4).

В дальнейших экспериментах подтверждена повторяемость полученных результатов, проведено сужение временного диапазона и исследовано влияние минимального срока воздействия на ОМЧ воды. Определены реперные точки: 6 с и 10 с. Характер зависимости ОМЧ от времени обработки совпал (рисунок 5), за исключением точек, когда время функционирования установки составило 6 с и 10 с. Выявлено, что именно за первые 6–10 с работы ЭГУ уничтожается до 94 % микроорганизмов (рисунок 5).

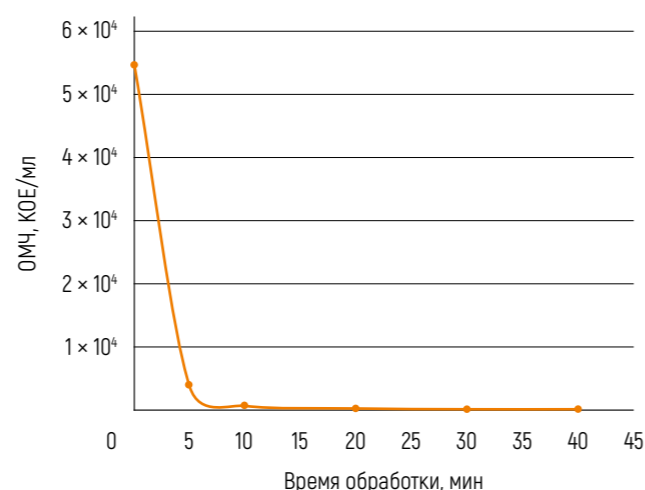


Рисунок 4 – Влияние времени обработки на ОМЧ при исходной концентрации микроорганизмов  $5,5 \times 10^4$  КОЕ/мл

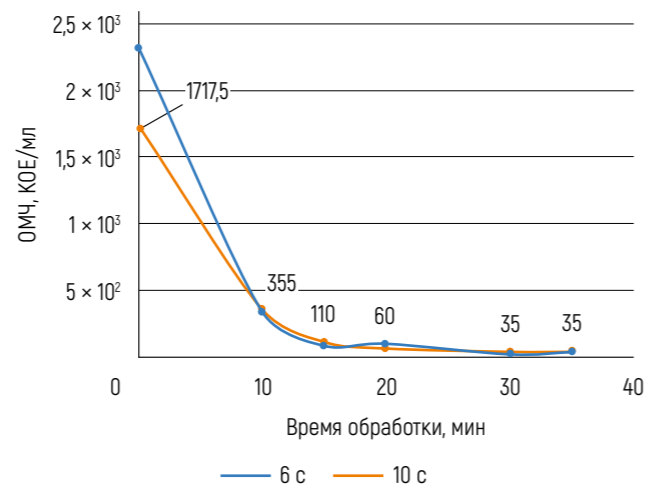


Рисунок 5 – Влияние времени обработки на ОМЧ при исходной концентрации микроорганизмов  $3 \times 10^4$  КОЕ/мл

С учётом полученных данных зависимость ОМЧ от времени обработки условно разбили на три участка (рисунок 6).

Участок I длительностью до 10 с характеризуется резким снижением ОМЧ с  $3 \times 10^4$  КОЕ/мл до  $2 \times 10^3$  КОЕ/мл, что составляет до 93 %. Предполагается, что на этом участке происходит гибель преимущественно вегетативных клеток как наименее устойчивых к воздействию электрогидродара. На участке II длительностью от 10 с до 15 мин наблюдается уменьшение значений ОМЧ с  $2 \times 10^3$  КОЕ/мл до  $1 \times 10^2$  КОЕ/мл, что, вероятно, связано с гибелью вегетативных клеток с эндоспорами. Участок III зависимости ОМЧ от времени, который начинается после 15 мин, имеет линейный, практически горизонтальный вид. Слабое снижение ОМЧ на последнем этапе, возможно, вызвано уничтожением оставшихся в водной среде спор, которые обладают плотной оболочкой и хорошо переносят неблагоприятные условия окружающей среды.

Комплексный характер такого метода обеззараживания, как электрогидродар, особенно важен при очистке вод, содержащих широкий спектр микроорганизмов. В связи с этим в дальнейшем проведено исследование обработки нативной озёрной воды на ЭГУ UniThorr. Полученные данные (рисунок 7) идентичны результатам обработки воды, контаминированной *B. subtilis* (рисунки 3, 4).

Эффективность обеззараживания озёрной воды составила 99 %. Остаточное значение ОМЧ после обработки на ЭГУ UniThorr равно 75 КОЕ/мл. Тем не менее, несмотря на высокую результативность обработки, необходимые показатели питьевой воды достигнуты не были (норматив по СанПиН 10-124 – не более 50 КОЕ/мл) [23].

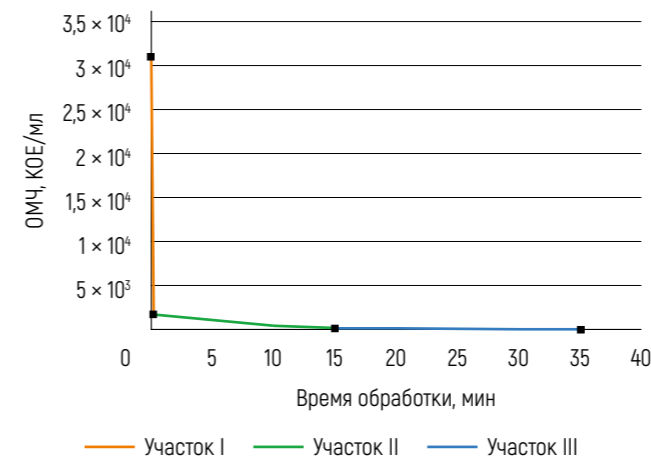


Рисунок 6 – Влияние времени обработки на ОМЧ при исходной концентрации микроорганизмов  $3 \times 10^4$  КОЕ/мл с разбиением кривой зависимости на участки (I, II, III)

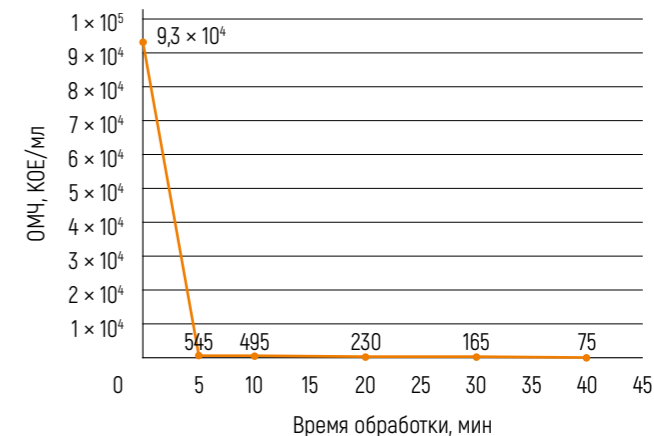


Рисунок 7 – Влияние времени обработки на ОМЧ озёрной воды

В соответствии с [23], устанавливающими требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения, контроль проводят по следующим микробиологическим показателям: общее микробное число, содержание общих и термотолерантных колиформных бактерий, спор сульфитредуцирующих бактерий, колифагов и цист лямблий. Кроме того, питьевая вода не должна содержать вирусов и простейших микроорганизмов. В связи с этим целесообразно расширить исследования по влиянию электрогидравлического эффекта на указанные показатели.

Результаты проведённых опытов показывают, что использование электрогидродара позволяет снизить биологическое загрязнение.

## Выводы и дальнейшие направления исследования

В настоящей статье отражена проблема ограниченности водных ресурсов для людей в условиях нахождения в космосе. Дана оценка наиболее оптимальным способам из существующих по обеззараживанию воды с учётом возможности их применения в КИО «Орбита», показаны их преимущества и недостатки.

Исследована возможность использования ЭГУ UniThorr для обеззараживания воды (на примерах нативной озёрной воды и искусственно контаминированной штаммом *B. subtilis*) и подтверждена высокая эффективность данного метода (степень обеззараживания достигла 99 %). Отметим, что обеззараживание в течение 40 мин воды, содержащей спорообразующие бактерии в концентрации  $5,5 \times 10^4$  КОЕ/мл, позволило достичь качества питьевой воды по ОМЧ.

Проведённые микробиологические исследования выявили значительное снижение бактериальной обсеменённости сточных вод под воздействием электрогидродара, что указывает на высокую степень обеззараживания. Дальнейшая работа будет направлена на увеличение эффективности очистки с применением ЭГУ, а также на изучение изменения микробиологической обсеменённости сточных, речных и других вод по микробиологическому и паразитологическому показателям.

Следовательно, можно сделать вывод о целесообразности использования ЭГУ UniThog в системе водоочистки на стадии обеззараживания воды, что позволит перейти на безреагентный метод и получить замкнутый цикл водопотребления в ЭКД, в котором необходима вода не только питьевого, но и технического качества, а также для полива культивируемых растений. Кроме того, на КИО «Орбита», куда в будущем будут вынесены с планеты Земля наиболее вредные промышленные производства, понадобятся эффективные системы водоочистки с последующим обеззараживанием. В связи с этим на основании дополнительных экспериментов будут предложены варианты замкнутой системы очистки воды с учётом её назначения.

## Литература

1. Регенерация воды на МКС [Электронный ресурс] // Водоочистка. – 2019. – № 1. – Режим доступа: <https://panor.ru/articles/regeneratsiya-vody-na-mks/5091.html>. – Дата доступа: 06.06.2022.
2. Долина, Л.Ф. Очистка сточных вод в условиях космоса / Л.Ф. Долина, Ю.А. Ждан, Д.А. Долина // Наука та прогрес транспорту. – 2020. – № 2 (86). – С. 7–15.
3. Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Гомель: Инфотрибо, 1995. – 337 с.: ил.
4. Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакросс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.: ил.
5. 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., Марьяна Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 179–183.
6. Юницкий, А.Э. Создание математической модели общепланетарного транспортного средства: разгон маховиков, прохождение атмосферы, выход на орбиту / А.Э. Юницкий, Р.А. Шаршов, А.А. Абакумов // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьяна Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 77–83.
7. Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьяна Горка, 12 сент. 2020 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – 516 с.
8. Юницкий, А.Э. Инженер: автобиография / А.Э. Юницкий. – Минск: Белпринт, 2021. – 400 с.
9. Unitsky, A. System Foundations of Non-Rocket Near Space Industrialization: Problems, Ideas, Projects / A. Unitsky. – Minsk: Gradient, 2021. – 568 p.
10. Юткин, Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности / Л.А. Юткин. – Л.: Машиностроение, 1986. – 253 с.
11. Головка, А.Н. Перспективы использования электрических методов для очистки жидких органических отходов животноводства / А.Н. Головка, А.М. Бондаренко // Вестник аграрной науки Дона. – 2018. – № 1 (41). – С. 52–57.
12. Соколова, Н.Ф. Средства и способы обеззараживания воды (аналитический обзор) / Н.Ф. Соколова // Медицинский алфавит: Эпидемиология и гигиена. – 2013. – № 1. – С. 43–54.
13. Ульянов, А.Н. Ультрафиолетовое излучение для дезинфекции питьевой воды [Электронный ресурс] / А.Н. Ульянов // Сантехника. – 2003. – № 4. – Режим доступа: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=2173](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2173). – Дата доступа: 03.06.2022.
14. Попенко, А.Ю. Применение электрофизических методов для очистки жидких органических отходов животноводства / А.Ю. Попенко, А.Н. Головка, А.В. Хаценко // Активная честолюбивая интеллектуальная молодёжь сельскому хозяйству. – 2021. – № 2 (11). – С. 90–95.
15. Кавитационное устройство для обеззараживания и очистки воды: пат. RU 71739 U1 / В.Д. Дудышев, У.А. Камалов. – Опубл. 20.03.2008.
16. Совершенствование системы обеззараживания и очистки балластных вод / А.Г. Данилян [и др.] // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2019. – Т. 30 (69), Ч. 2, № 3. – С. 143–147.

17. Добромиров, В.Н. Технология обеззараживания жидкостей на основе электрогидравлического эффекта / В.Н. Добромиров, Д.В. Аврамов, Н.В. Мартынов // Вода и экология: проблемы и решения. – 2019. – № 2 (78). – С. 17–23.
18. Escherichia coli Disinfection by Electrohydraulic Discharges / W.K. Ching [et al.] // Environmental Science & Technology. – 2021. – Vol. 35 (20). – P. 4139–4144.
19. Ching, W.K. Soluble Sunscreens Fully Protect E. coli from Disinfection by Electrohydraulic Discharges / W.K. Ching, A.J. Colussi, M.R. Hoffmann // Environmental Science & Technology. – 2003. – Vol. 37 (21). – P. 4901–4904.
20. Lee, C. Inactivation of MS2 Bacteriophage by Streamer Corona Discharge in Water / C. Lee, J. Kim, J. Yoon // Chemosphere. – 2011. – Vol. 82 (8). – P. 1135–1140.
21. Effects of Pulsed and Continuous Wave Discharges of Underwater Plasma on Escherichia coli / S.J. Lee [et al.] // Separation and Purification Technology. – 2018. – Vol. 193. – P. 351–357.
22. Effects of Electrode Parameters on Sewage Disinfection by Underwater Pulsed Arc Discharge / J. Yang [et al.] // Journal of Electrostatics. – 2019. – Vol. 98. – P. 34–39.
23. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: СанПиН 10-124 РБ 99. – Введ. 01.01.2000. – Минск: Госстандарт: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2000. – 112 с.
24. An Electrohydraulic Direct Current Discharge for Inactivation of Escherichia coli in High-Bacterial Density Wastewaters / E. Gwanzur [et al.] // International Journal of Engineering Research in Africa. – 2021. – Vol. 55. – P. 190–206.
25. Pulsed Submerged Arc Plasma Disinfection of Water: Bacteriological Results and an Exploration of Possible Mechanisms / R.L. Boxman [et al.] // Plasma Assisted Decontamination of Biological and Chemical Agents: Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on Plasma Assisted Decontamination of Biological and Chemical Agents, Cesme-Izmir, 9–18 Sept. 2007. – Springer, 2008. – P. 41–45.
26. Концевая, И.И. Микробиология: физиологические группы бактерий: практ. рук. / И.И. Концевая. – Чернигов: Десна Полиграф, 2017. – 40 с.



# Анализ причин усадки шумо- и теплоизоляционных нетканых полотен и разработка мероприятий по её предупреждению

Лукьянова Е.Л.,  
кандидат технических наук

Витебский государственный  
технологический университет,  
г. Витебск, Беларусь



Обосновано использование нетканых материалов при строительстве общепланетарного транспортного средства (ОТС). Проведены исследования двух типов волокон, описаны технологические особенности производства нетканых полотен. Так как для получения таких материалов применяется физико-химический способ формирования склеек из полимеров, экспериментальным путём установлена оптимальная температура сушки полотен для предотвращения их повышенной усадки.

*Ключевые слова:* волокно, вторичное сырьё, нетканые материалы, образец, текстильная промышленность, температура, эксперимент.

УДК 677.026.4



## Введение

На строительство общепланетарного транспортного средства (ОТС) потребуется большое количество различных материалов, которые в основном будут доставлены с Земли. Использование экоматериалов [1], а также вторичного сырья (отходов) при возведении ОТС – один из аспектов снижения экологической нагрузки на планету. Отходы текстильной промышленности также могут быть задействованы в данном процессе (например, при обустройстве ЭкоКосмоДомов (ЭКД) или для звуко- и теплоизоляции транспортных модулей ОТС).

Перспективное направление применения текстильных отходов как вторичного сырья – изготовление нетканых композиционных материалов способом термоскрепления, который имеет три модификации: горячее прессование, сварка и аутогезионное взаимодействие. Полученные таким образом полотна могут использоваться:

- в строительстве в качестве тепло- и шумоизоляции, подложки под ламинат и линолеум;
- в машиностроении в качестве шумоизоляции для автомобилей [1, 2].

Применение нетканых композитов из текстильных отходов позволяет значительно снизить трудоёмкость изготовления материалов для строительства транспорта и жилья; в дальнейшем окажет положительное влияние на себестоимость работ по возведению ОТС.

Одним из этапов технологического процесса производства названных материалов является сушка (стабилизация) волокнистого холста посредством воздействия на него температуры. Термофиксация происходит в печи за счёт расплава равномерно распределённых связующих волокон.

В УО «Витебский государственный технологический университет» (УО «ВГТУ») разработаны разные составы волокнистых смесей [3], однако во всех из них содержатся компоненты, которые под влиянием температуры дают усадку, из-за чего сокращаются размеры готового полотна. Для использования в машиностроении нетканые материалы ламинируют и формируют по размеру и конфигурации деталей, для которых они предназначены. При термофиксации волокнистый холст должен подвергнуться (с целью предотвращения усадки во время ламинации) воздействию такой температуры, которая позволит скрепить волокна между собой, т. е. образовать склейки, и при этом провести принудительную усадку с соблюдением требуемых линейных размеров ширины полотна. В настоящей работе уделено внимание данному процессу.

## Описание исследования

В качестве термосвязующего (скрепляющего) волокна в смесках используется бикомпонентное полиэфирное волокно марки 4DE51Слон (рисунок 1) и полиэфирное волокно марки 6DE64 (рисунок 2) – полое высокоизвитое несиликонизированное волокно.



Рисунок 1 – Волокно марки 4DE51Слон (производство Корея)

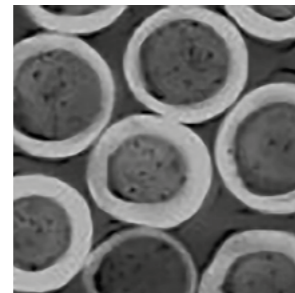


Рисунок 2 – Волокно марки 6DE64 (производство Корея)

Производителем заявлена температура плавления волокон:

- марки 4DE51Слон – 160–180 °С;
- марки 6DE64 – 140–160 °С.

Волокно марки 4DE51Слон содержит в своей структуре две составляющие – ядро и оболочку. За счёт низкой температуры плавления оболочки бикомпонентное полиэфирное волокно (БИК), именуемое также «легкоплав», применяется как связующий элемент. Внешний вид такого волокна под микроскопом представлен на рисунке 3.



а)



б)

Рисунок 3 – Вид БИК под микроскопом: а – поперечное сечение волокна; б – волокно по длине

Оболочка БИК состоит из полиэтилена, обладает свойством повышенной мягкости, а также характеризуется низкой температурой соединения; значит, может быть использована в качестве связующего компонента в смеси волокон или с другими материалами. Вещество ядра (полиэфир) необходимо для обеспечения целостности продукта. Ядро не расплавляется во время соединения и формирует трёхмерную сеть, придавая нетканому изделию прочность.

Процесс сушки (стабилизации) осуществляется следующим образом: полотно автоматически размещается на конвейере перед печью и продвигается по ходу линии между двумя перфорированными лентами транспортера. Печь состоит из горячих камер и секции охлаждения. В горячей камере воздух форсировано вдувается вентиляторами через диффузор. На горелке воздух нагревается до установленной температуры обработки волокон. В секции охлаждения вентилятор работает в режиме всасывания,

используя внешний воздух для охлаждения и стабилизации продукта. Затем воздух выдувается через вытяжную трубу.

При воздействии температуры все волокна претерпевают изменения. Рассмотрим поведение полотна, состоящего из экспериментальной смеси (таблица 1), в процессе стабилизации.

Высота полотна при выходе с холстоформирующей машины составляла 0,2 м, после прохождения печи при режимах и параметрах, указанных в таблице 2, – 0,16 м; ширина холста до сушки – 1 м, после сушки – 0,98 м.

Таким образом, усадка материала составила по высоте 20 %, по ширине – 2 %, что говорит о его анизотропии. Подобные показатели недопустимы, поскольку максимально возможная по ширине усадка, которая в последующем компенсируется прижимными валами в секции охлаждения, равна 1 %.

Таблица 1 – Волокнистый состав экспериментальной смеси

Компонент	Заданная по рецепту доля компонента в готовой смеси, %	Фактическая доля компонента в исследуемой пробе, %	Абсолютная разница, %	Неравномерность распределения волокон компонента в смеси, %
Полипропилен	15,6	15	0,6	3,8
Полиэфир	40	43	3	7,5
Аппретирующая смесь	2,8	0	2,8	100
Полиамид	13,6	13	0,6	4,4
Шерсть	12	13	1	8,3
Вискоза	8	8	0	0
Хлопок	8	8	0	0

Таблица 2 – Технические характеристики печи термоскрепления

Показатель	Значение
Длина печи, м	9
Температура воздействия, °С	180
Скорость прохождения полотна, м/мин	15

Проанализируем процентное содержание компонентов волокна на выходе из печи для образца, представленного в таблице 1. Исследования проводились в Центре испытаний и сертификации УО «ВГТУ». Результаты согласно протоколу испытаний даны в таблице 3.

Как показано в таблице 3, доля компонентов в исследуемой пробе нетканого материала уменьшилась по сравнению с показателями пробы сформированного холста. Такие изменения связаны с поведением волокон, входящих в смесь. Некоторые из их свойств представлены в таблице 4 [4].

Из таблицы 4 видно, что полипропилен и полиэтилен, входящие в БИК, расплавились – в готовом материале они не распознаны, а шерсть, вискоза и хлопок при температуре работы печи близки к разрушению, что объясняет снижение их доли.

Рассматриваемый способ получения нетканых материалов является физико-химическим, основанным на формировании склеек из полимеров, входящих в смесь и пребывающих под воздействием температуры. Активация клеящей способности волокон осуществляется при переходе их в вязко-текучее состояние. Полимеры (полипропилен, полиэфир, полиамид) в таком виде подобно жидкостям способны растекаться по поверхности волокон и смачивать её, что необходимо для формирования адгезионного контакта и получения прочной адгезионной связи.

Склейки создаются прослойкой связующего компонента между волокнами в местах их пересечений и поэтому считаются контактными. Они имеют минимальные размеры и прочность, а также оптимальную шарнирную подвижность (рисунок 4).

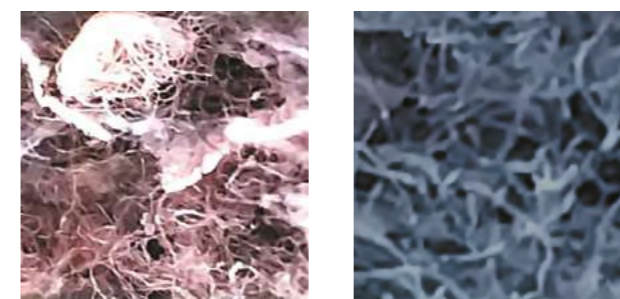


Рисунок 4 – Вид сформированного холста под микроскопом

Ширина готового полотна должна быть не менее 1 м. Усадка в 1 см по ширине нетканого материала, как уже отмечалось ранее, компенсируется при прохождении между уплотняющими валами после системы охлаждения. При этом неровности обрезаются продольным резаком.

Таким образом, при формировании нетканых материалов существенной характеристикой является усадка (соответственно, и интервал температур, в котором она обнаруживается). Однако важно знать не только возможное изменение размеров полотна в результате указанного процесса, но и скорость усадки при различных температурах.

Как для любого термически активируемого релаксационного процесса, скорость и время усадки обусловлены энергией активации. Следовательно, представляет интерес определение релаксационных параметров процесса усадки полотна по данным линейной дилатометрии с целью установления механизма, кинетики процесса и оценки стабильности нетканых материалов с содержанием полимеров при различных температурах.

Для оптимизации технологического процесса термофиксации требуется подобрать такую температуру воздействия на материал, которая позволит создать склейки, достаточные для адгезии, при этом не изменит ширину

полотна в готовом виде. Для этого проведён эксперимент, где использовались смеси с разным процентным содержанием связующего волокна (в одних связующий элемент – БИК 4DE51Слон, в других – полиэфирное волокно 6DE64) (таблица 5).

В работе руководствовались следующими параметрами: планируемая толщина полотна – 27 мм, скорость движения ленты – 15 м/мин, продолжительность воздействия температуры на образцы – 36 с. Усадкой холста первоначальной толщиной 0,2 м пренебрегли, так как в последующем материал уплотняется до толщины 27 мм.

Результаты испытаний представлены на рисунке 5.

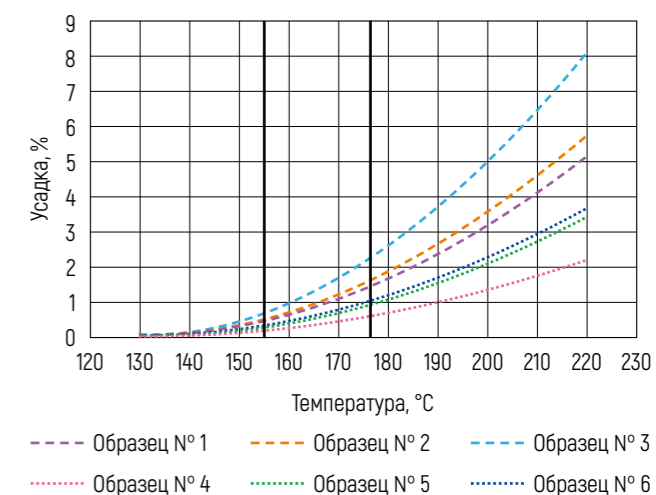


Рисунок 5 – График зависимости величины усадки образцов от температуры воздействия

Нижний предел температуры эксперимента выбран по температуре плавления полиэтилена, верхний – по максимально возможной температуре работы печи.

Таблица 3 – Процентное содержание компонентов экспериментальной смеси

Доля компонента в исследуемой пробе сформированного холста		Доля компонента в исследуемой пробе нетканого материала*	
Компонент	Содержание, %	Компонент	Содержание, %
Полиэфир	43	Полиэфир	40
Полипропилен	15	Шерсть	10
Полиамид	13	Другие виды волокон (полиамид, вискоза, хлопок)	50
Шерсть	13		
Вискоза	8		
Хлопок	8		

\* Доля компонента в исследуемой пробе нетканого материала находилась по двум видам волокон, так как в протоколе испытаний содержание компонента ниже 10 % не выявлялось.

Таблица 4 – Свойства компонентов экспериментальной смеси

Компонент	Температура, °C		Усадка при температуре плавления, %
	плавления	разрушения	
Полипропилен	130–170	325	12–15
Полиэфир	255–260	341	40–50
БИК: • ядро (полиэфир) • оболочка (полиэтилен)	255–260	341	40–50
	130–145	349	1–2
Полиамид	254–260	355	1–2
Шерсть	–	170	2–3
Вискоза	–	150–160	5–8
Хлопок	–	180–220	2–6

Таблица 5 – Состав экспериментальных смесей

Образец	Компоненты	Доля в смеси, %	Образец	Компоненты	Доля в смеси, %
№ 1	6DE64	15	№ 4	4DE51Слон	15
	Регенерированное волокно	85		Регенерированное волокно	85
№ 2	6DE64	25	№ 5	4DE51Слон	25
	Регенерированное волокно	75		Регенерированное волокно	75
№ 3	6DE64	35	№ 6	4DE51Слон	35
	Регенерированное волокно	65		Регенерированное волокно	65

## Выводы

График (рисунок 5) показывает, что смеси с содержанием БИК 4DE51Слон должны подвергаться сушке при температуре 130–178 °С, а с содержанием волокна марки 6DE64 – 130–160 °С (при максимально допустимой усадке материала не более 1 %). Несоблюдение указанных температурных режимов способствует повышенной усадке полотен по ширине и, как следствие, производству бракованной продукции. Для того чтобы предупредить дефекты готовых изделий, данные параметры должны быть учтены при дальнейшей ламинации материала для использования его в ОТС.

## Литература

1. Гаранин, В.Н. Возможности использования древесных экоматериалов в конструктивных элементах общепланетарного транспортного средства / В.Н. Гаранин // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы IV междунар. науч.-техн. конф., Марьино Горка, 18 сент. 2021 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2022. – С. 161–167.
2. Зими́на, Е.Л. Технологические и теоретические основы получения материалов с использованием текстильных отходов: монография / Е.Л. Зими́на, А.Г. Коган, В.И. Ольшанский. – Витебск: ВГТУ, 2019. – 230 с.
3. Технологии переработки отходов химического волокна коврового производства / Е.Л. Зими́на [и др.] // Химические волокна. – 2019. – № 1. – С. 23–25.
4. Зими́на, Е.Л. Разработка технологии производства шумоизоляционных материалов с использованием отходов / Е.Л. Зими́на, Н.В. Ульянова, О.Д. Ващенко // Химические волокна. – 2020. – № 5. – С. 43–45.



# Определение ключевых параметров технологического освещения для растений

Юницкий А.Э.<sup>1,2</sup>,  
доктор философии транспорта

Павлюченко А.М.<sup>2</sup>

Зыль Н.С.<sup>2</sup>

Налетов И.В.<sup>2</sup>

Пятакова Т.И.<sup>2</sup>

Заяц В.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО «Астроинженерные  
технологии»,  
г. Минск, Беларусь

<sup>2</sup> ЗАО «Струнные технологии»,  
г. Минск, Беларусь



Выполнен анализ используемых в настоящее время осветительных установок с точки зрения их эффективности при культивировании растений в условиях закрытого грунта, в частности в ЭкоКосмоДоме (ЭКД). Определены основные параметры освещения, которые напрямую влияют на рост и развитие культур.

**Ключевые слова:** антоцианы, дуговые натриевые трубчатые лампы (ДНАТ-лампы), каротиноиды, люминесцентные лампы, металлогалогенные лампы (МГЛ), ртутные лампы, светодиодные лампы, фотосинтетически активная радиация (ФАР), хлорофилл, ЭкоКосмоДом (ЭКД).

УДК 581.143:621.3





## Введение

Фактор освещения оказывает существенное влияние на жизнедеятельность растений. Свет – основной источник энергии не только для флоры, но и косвенно для всех остальных компонентов экосистемы, нуждающихся в продуктах. Выращивание культур в условиях закрытого грунта является одним из самых актуальных направлений научно-практической деятельности, связанной с обеспечением населения продуктами питания, решением вопроса сезонной доступности свежих овощей, фруктов и ягод, а также с искоренением голода.

Для успешного выращивания культур необходимо учитывать характеристики их основных фоторецепторов и фотопигментов, а также процессов взаимодействия света и растений. Каждое из них представляет собой сложную систему фотопигментов, которые, реагируя на излучение, определяют все многочисленные фотобиологические процессы, зачастую не зависящие друг от друга.

Пигментами называются вещества, избирательно поглощающие излучение в диапазоне потока фотосинтетически активной радиации (ФАР). Часть световых волн при этом отражается, и в зависимости от спектрального состава отражённого света пигменты приобретают окраску: зелёную, жёлтую, красную и др.

Различают три основных типа фотосинтетических веществ: хлорофиллы, каротиноиды и антоцианы [1]. Кроме фотопигментов у растений обнаружены и фоторецепторы, которые активизируются при очень низких уровнях облучённости и непосредственно влияют на развитие культур [2].

Практически у всех фототрофов присутствует хлорофилл. При попадании на него кванта света (фотона) происходит временное выбивание электрона молекулы хлорофилла на более высокий энергетический уровень. Поскольку место перешедшего электрона какой-то период не занято, вся молекула хлорофилла становится возбуждённой. Со временем ушедший электрон возвращается на свой уровень с выделением энергии, которая и затрачивается на образование углеводов из  $CO_2$  и воды.

Каротиноиды являются важной частью обязательных фотосинтетических пигментов и подразделяются на каротин (оранжевый), ксантофилл (жёлтый), ликопин, лютеин и др. Они локализованы во всех окрашенных пластидах, участвуют в фотосинтезе в качестве дополнительных антенных комплексов и, поглощая недоступный другим пигментам свет (наиболее эффективно на длинах волн 425, 445, 450, 475 и 480 нм), передают его энергию хлорофиллу.

Дополнительно каротиноиды сдерживают световое окисление хлорофилла, причём он обычно маскирует каротиноиды, делая их малозаметными до наступления холодов.

Антоцианы обеспечивают красную, фиолетовую и синюю окраску плодов и листьев. Данные пигменты улавливают оптическое излучение красной части спектра, а затем преобразуют принятую энергию в тепловую, тем самым защищая растения в холодные весенне-осенние периоды. Увеличение количества антоцианов происходит не только при понижении температур, но и при остановках синтеза хлорофилла и улавливании ближнего ультрафиолета.

Соответственно, основным фактором для начала фотобиологических реакций является наличие в растении веществ, поглощающих излучение определённой длины волны. Активация фотопигментов под действием излучения переводит молекулу вещества в активное состояние, запуская последовательность фотохимических реакций, в конце которых молекула фотопигмента возвращается в исходное состояние и может снова поглощать квант излучения. Фотосинтетические пигменты (хлорофилл *a*, хлорофилл *b*, каротиноиды и антоцианы), придающие окраску различным частям растений, и фоторецепторы (криптохром, фитотропин, фитохром) имеют разные максимумы поглощения спектра света (рисунок 1).

Следовательно, растение можно условно представить как адаптирующийся и саморегулирующийся фотоприёмник, который избирательно поглощает энергию оптического излучения определёнными фотопигментами, тем самым запуская множественные процессы.

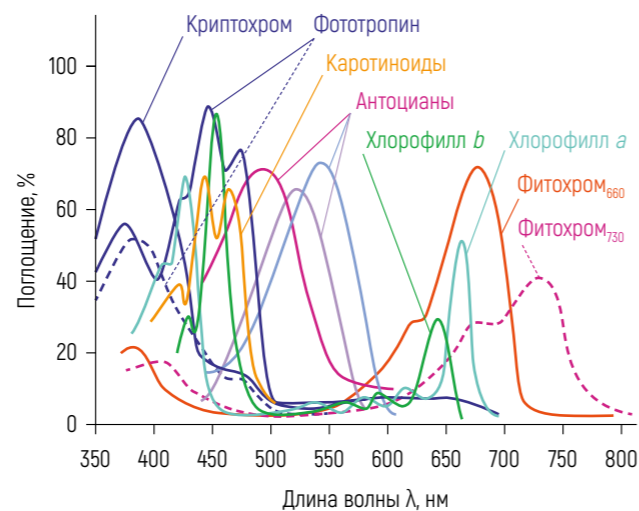


Рисунок 1 – Диапазон поглощения оптического излучения фотобиологически активными веществами растений

## Сравнение актуальных осветительных систем

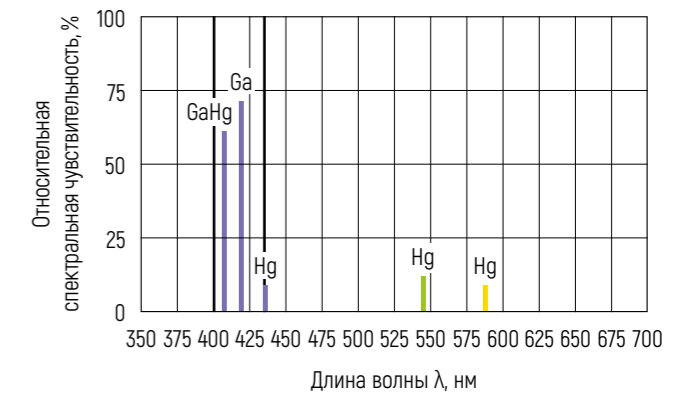
Культивирование растений всё чаще происходит в теплицах. Таким образом удаётся получить большее количество продукции с меньшей площади, минимизируя водопотребление, делая доступным свежее продовольствие невзирая на сезонность выращивания традиционными методами. Для того чтобы растительным культурам создать благоприятные условия, при недостатке естественного солнечного освещения чаще всего используют люминесцентные, ртутные, светодиодные и дуговые натриевые трубчатые (ДНАТ) лампы.

Предпосылкой широкого применения люминесцентных приборов для освещения теплиц стали исследования А.Ф. Клешнина (1954 г.) в сфере фотопроductивности растений. В результате экспериментов с цветными (селективными) люминесцентными лампами выявлен различный характер воздействия диапазонов красной, зелёной и синей частей спектра на продуктивность изучаемых культур; определён приоритет красного и синего диапазонов над зелёным, причём для разных растений он отличался [3]. В последующих опытах высказана гипотеза о максимальной эффективности оптического излучения в диапазоне пиков 450–650 нм для нескольких овощных культур и предложен вариант оптимального спектра с соотношением R : G : B, равным 2,5 : 1 : 1,5 [4]. Такие фотобиологические исследования зависимости продуктивности от освещения впервые позволили получить экспериментально подтверждённые данные о спектральных предпочтениях растений и «световые кривые» продуктивности.

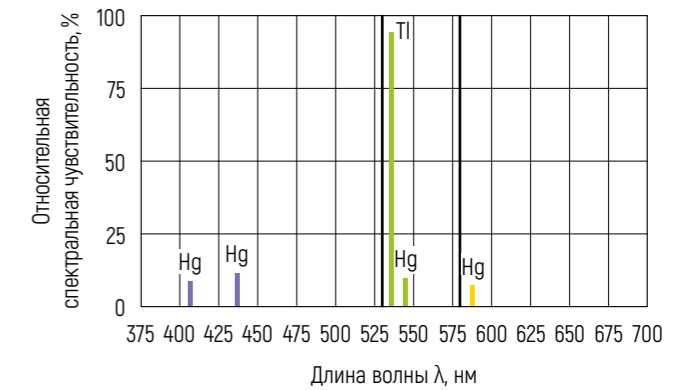
Практика показала существенные недостатки люминесцентных ламп: снижение светопотока в процессе эксплуатации, небольшой срок службы, значительное энергопотребление, трудности при утилизации, шум. Кроме того, на базе современных исследований опровергнуто предложенное оптимальное соотношение R : G : B (2,5 : 1 : 1,5), и расширен необходимый для жизнедеятельности растений диапазон спектра [5]. Однако технологии культивирования растений с помощью таких ламп широко используются в настоящее время, что объясняется высокой стоимостью переоборудования теплиц и обязательной утилизацией функционирующих систем освещения.

Современные тепличные хозяйства оснащены металлогалогенными лампами (МГЛ), которые представляют собой ртутные лампы высокого давления с добавкой различных галогенидов металлов для улучшения селективных свойств. Благодаря высокой цветовой дифференциации такой тип осветительных приборов создавался

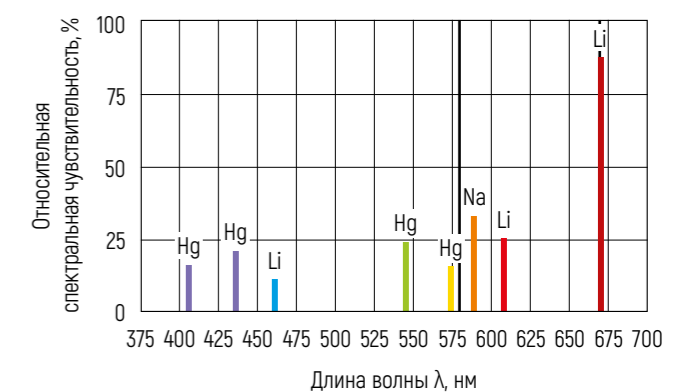
для фотобиологических исследований. Наиболее часто применяемые лампы охватывали сине-фиолетовую (ДРТИ 1000), зелёную (ДРТИ 1000-2) или красную (ДРТИ 1000-3) части спектра (рисунок 2).



а)



б)



в)

Рисунок 2 – Спектры МГЛ: а – ДРТИ 1000; б – ДРТИ 1000-2; в – ДРТИ 1000-3

МГЛ отличаются низким энергопотреблением, длительным сроком работы и достаточно высокой интенсивностью светового потока (при комбинировании нескольких таких ламп можно получить эффективное освещение в диапазоне 400–675 нм). К их недостаткам следует отнести высокое тепловыделение, недостаточную надёжность при эксплуатации и специальные требования к утилизации.

Одной из новейших технологий освещения является выращивание кристаллов с последующим покрытием их люминофором, что даёт возможность создания светодиодного источника белого света на основе галлия. Эта инновация позволяет производить светодиоды с узкими спектральными областями излучения для максимально точных фотобиологических исследований, при этом гарантируется исключение влияния других диапазонов спектра. Выделяют семь основных типов цветных (селективных) светодиодов, которые полностью охватывают область ФАР и имеют диапазон излучения  $\Delta\lambda$  (по уровню 0,5 от максимальной интенсивности) порядка 10–20 нм: royal blue, blue, cyan, green, amber, red orange, red (рисунок 3).

Применение светодиодов при культивировании растений в условиях недостатка естественного освещения обусловлено высокой интенсивностью светового потока при низких энергозатратах и длительных сроках службы. Из недостатков таких ламп следует отметить повышенные требования к стабильности работы систем подачи электроэнергии.

В современных тепличных хозяйствах широко используют ДНаТ-лампы. Они дают жёлто-оранжевый свет, который считается наиболее похожим на солнечный.

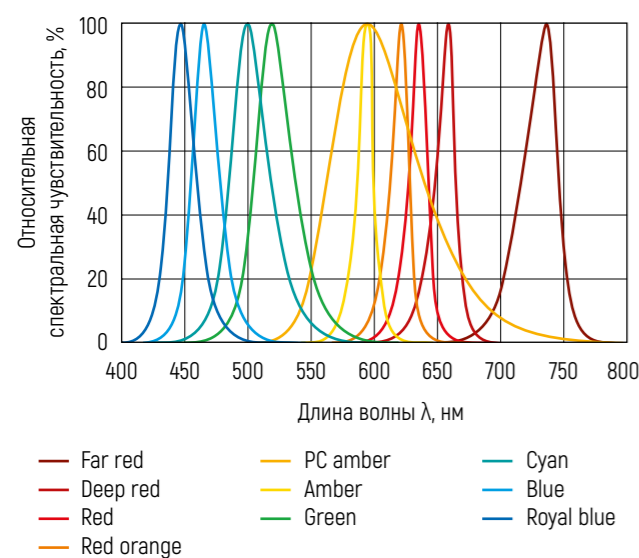


Рисунок 3 – Характерные спектры цветных светодиодных ламп

Мощные ДНаТ-лампы сопоставимы со светодиодами по интенсивности светового потока [6], работают в большом диапазоне температур (–60... +45 °С) и сравнительно недорого. Существенным недостатком таких приборов является низкий индекс цветопередачи (рисунок 4) и его сильная зависимость от состава внешнего стекла, при этом стоимость ламп значительно увеличивается при применении качественного стекла для лучшей цветопередачи.

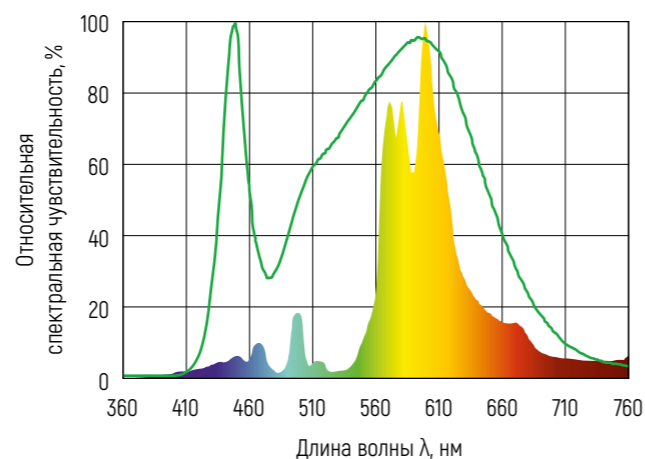


Рисунок 4 – Сравнение спектрального состава излучения типовой лампы ДНаТ 1000 и типового светодиода (зелёная линия)

Таким образом, если определяющими факторами освещения для культивирования растений в закрытом грунте считать срок службы, энергоэффективность, насыщенность светового потока и простоту утилизации ламп, то явными преимуществами обладают светодиодные источники (таблица 1).

Помимо таких важных характеристик, как срок службы и энергоэффективность ламп, при выборе осветительных приборов необходимо учитывать ключевой для растений фактор – качество света. Параметры осветительной способности обычно указывают в люксах или люменах. Однако люкс – это единица измерения освещённости поверхности 1 м<sup>2</sup> при световом потоке 1 лм [7]. Люмен равен световому потоку с силой света в 1 кд [7]. Кандела, являясь одной из семи основных единиц СИ, определена как сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение с частотой  $540 \times 10^{12}$  Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет 1/683 Вт/ср. Монохроматическое излучение обладает очень малым диапазоном частот (в идеальных условиях – одной) и на частоте  $540 \times 10^{12}$  Гц соответствует длине волны 555,016 нм в воздухе при стандартных условиях [8], что практически равно

Таблица 1 – Ключевые параметры разных типов осветительных приборов

Тип лампы	Срок службы, тыс. ч	Энергопотребление, Вт	Световой поток, мкмоль/с/м <sup>2</sup>	Специальные требования к утилизации
Люминесцентная	8–25	6–120	100–330	Есть
МГЛ	1–20	30–2000	250–850	Есть
ДНаТ	5–30	20–600	90–2200 и более	Есть
Светодиодная	50 и более	1–15	1100–2200 и более	Нет

максимуму чувствительности человеческого глаза. Таким образом, величины люкс, люмен и кандела количественно определяют монохроматическое излучение, наиболее заметное нашему зрению, и не учитывают потребности растения в синем и красном диапазонах спектра.

Многочисленные исследования подтверждают различную реакцию культур на излучение отдельных диапазонов спектра ФАР. Максимальная продуктивность капусты и свёклы достигнута при облучении оранжево-красным диапазоном, гороха – фиолетовым [9]. В экспериментах зелёно-жёлтое излучение оказалось минимально эффективным. Однако важность данного диапазона ФАР обусловлена тем, что зелёный свет, достигая нижних затенённых листьев, может обеспечивать сравнительно больший фотосинтез, чем синий свет, и примерно равен красному [10, 11]. В исследовании продуктивности салата подтверждён эффект увеличения

массы зелёных листьев при добавлении к красно-синему до 24 % зелёного излучения [12]. Фотобиологическими экспериментами с использованием селективных ламп также продемонстрирован способ управления концентрацией нитратов и её снижения в продукции при дополнительном облучении красным диапазоном спектра при завершении вегетации зеленных культур (салат, майоран, зелёный лук) [13].

Так как свет нужен растениям для фотосинтеза, то и эффективность освещения можно определять через количество света, затраченного для осуществления данного процесса. Для образования 1 моля глюкозы расходуется 8–10 квантов света [14], для удобства поток квантов обозначают в микромолях в секунду на квадратный метр (1 мкмоль равен  $6,02 \times 10^{17}$  квантов).

В ходе исследования авторами 23 июня 2022 г. в г. Минске был измерен уровень естественного освещения (рисунок 5)

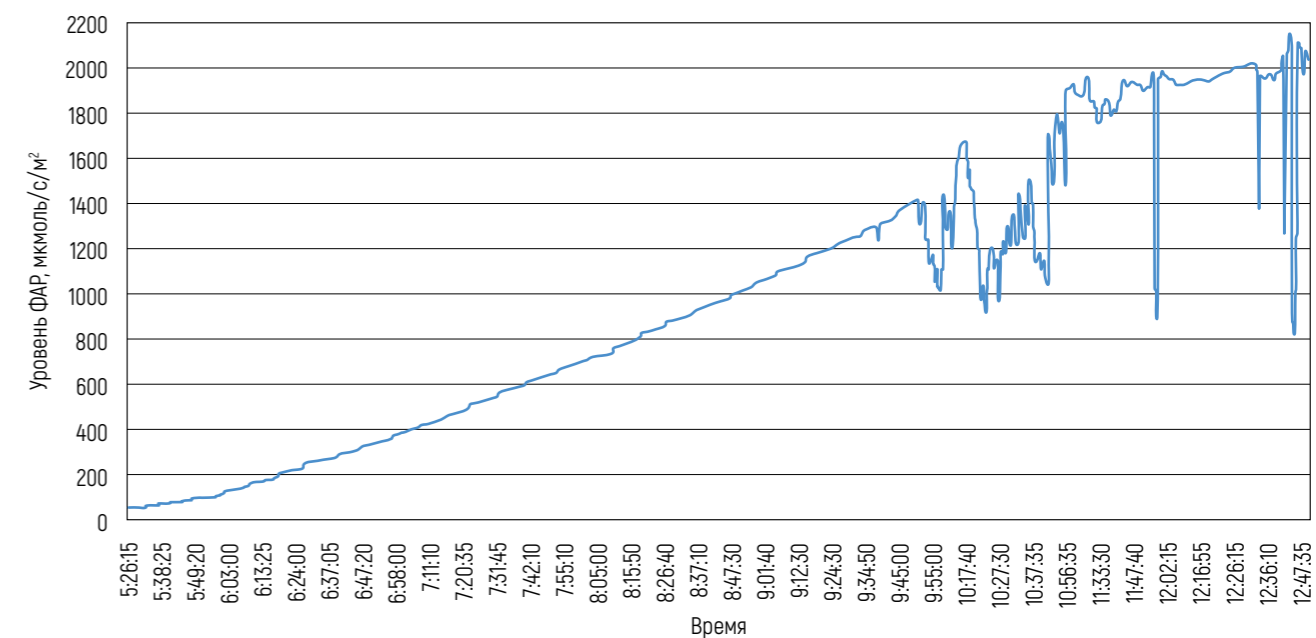


Рисунок 5 – Уровень естественного освещения, г. Минск, 23 июня 2022 г.

квантометром Skye (диапазон 400–700 нм, погрешность – максимум 1%). Место для эксперимента выбрано с учётом того, чтобы от начала до окончания измерений исключить затенение от зданий, сооружений и деревьев. Практически с рассвета наблюдалось чистое небо; уровень ФАР равномерно возрастал на 100 мкмоль/с/м<sup>2</sup> за 30 мин. С 10:00 наступила переменная облачность, что значительно уменьшило уровень освещённости.

Стоит отметить, что большинство фотобиологических исследований проводится в диапазоне 100–200 мкмоль/с/м<sup>2</sup>, а значения в 400–700 мкмоль/с/м<sup>2</sup> считаются аномально высокими [15], несмотря на то что уровень естественного освещения в 700 мкмоль/с/м<sup>2</sup> наблюдается уже в 8:00.

Для ориентировочного сравнения различных типов ламп между собой и с естественным освещением (таблица 2) использовались установки одинаковой мощности (100 Вт), поток ФАР измерялся на расстоянии 20 см от источника освещения.

Таблица 2 – Уровень светового потока разных типов осветительных приборов одинаковой мощности

Тип лампы	Срок службы, тыс. ч	Мощность, Вт	Световой поток, мкмоль/с/м <sup>2</sup>
Люминесцентная	8	100	330
МГЛ	1,5	100	380
ДНаТ	28	100	400
Светодиодная	50 и более	100	900–2200 и более

## Выводы и дальнейшие направления исследования

При культивировании растений в защищённом грунте необходимо обосновать выбор источников света. С одной стороны, световой поток должен обладать максимальным фотосинтетическим воздействием на выращиваемую культуру, учитывая её особенности, во всём диапазоне фотосинтетического спектра, а также способствовать её ускоренному росту, цветению или плодоношению. С другой стороны, источники оптического излучения должны рационально потреблять электрическую энергию и не наносить вреда людям и экологии, что особенно важно в условиях ЭкоКосмоДома (ЭКД) [16]. Следовательно, для растений предпочтительны светодиодные светильники с широкополосным светом. Высокая светоотдача и длительный рабочий ресурс позволяют в разы снизить затраты на электроэнергию

и эксплуатационные расходы на осветительную аппаратуру. Кроме того, светодиодным излучателям присущи такие преимущества, как конструктивная гибкость, механическая прочность и простота утилизации.

В космосе спектр солнечного излучения существенно отличается от спектра на поверхности Земли, поэтому в будущем планируется провести исследования по использованию естественного света в космических условиях (с применением определённых световых фильтров в ЭКД) в сочетании со светильниками.

## Литература

1. Чуб, В.В. Поглощение света растениями и биологически активные молекулы / В.В. Чуб, О.Ю. Миронова // Светотехника. – 2019. – № 7. – С. 13–18.
2. Жизнь растений: в 6 т. / гл. ред. А.Л. Фёдоров. – М.: Просвещение, 1974–1982. – Т. 5, ч. 1: Цветковые растения / под ред. А.Л. Тахтаджяна. – 1980. – 430 с.
3. Клешнин, А.Ф. Растение и свет: Теория и практика светокультуры растений / А.Ф. Клешнин. – М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1954. – 457 с.
4. Corth, R. New Fluorescent Lamp for Plant Growth Applications / R. Corth, G.M. Jividen, R.J. Downs // Journal of the Illuminating Engineering Society. – 1973. – Vol. 2, iss. 2. – P. 139–142.
5. Meng, Q. Spectral Manipulation Improves Growth and Quality Attributes of Leafy Greens Grown Indoors: A Dissertation / Q. Meng. – Michigan State University, 2018. – 149 p.
6. Рохлин, Г.Н. Разрядные источники света / Г.Н. Рохлин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 720 с.
7. Деньгуб, В.М. Единицы величин: словарь-справочник / В.М. Деньгуб, В.Г. Смирнов. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 240 с.: ил.
8. Photometry – The CIE System of Physical Photometry: ISO 23539:2005(E)/CIE S 010/E:2004 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/41641/7ff64d9b5e4e4a478dae39965b92a7cd/ISO-23539-2005.pdf>. – Date of access: 15.07.2022.
9. Прикупец, Л.Б. Оптимизация характеристик фитооблучателей на основе фотобиологических экспериментов / Л.Б. Прикупец, Г.С. Сарычев, Д.В. Федюнькин // Светотехника. – 1978. – № 5. – С. 19–21.
10. Green-Light Supplementation for Enhanced Lettuce Growth Under Red- and Blue-Light-Emitting Diodes / H.-H. Kim [et al.] // HortScience. – 2004. – Vol. 39, No. 7. – P. 1617–1622.

11. Smith, H.L. Don't Ignore the Green Light: Exploring Diverse Roles in Plant Processes / H.L. Smith, L. McAusland, E.H. Murchie // Journal of Experimental Botany. – 2017. – Vol. 68, No. 9. – P. 2099–2110.
12. Green Light Drives Leaf Photosynthesis More Efficiently Than Red Light in Strong White Light: Revisiting the Enigmatic Question of Why Leaves Are Green / I. Terashima [et al.] // Plant and Cell Physiology. – 2009. – Vol. 50, No. 4. – P. 684–697.
13. Solid-State Lamp for the Improvement of Nutritional Quality of Leafy Vegetables / Z. Bliznikas [et al.] // Elektronika ir Elektrotechnika. – 2009. – Vol. 96, No. 8. – P. 85–88.
14. Renewable Biological Systems for Alternative Sustainable Energy Production / ed. K. Miyamoto // FAO Agricultural Services Bulletin. – 1997. – Vol. 128. – 108.
15. Аверчева, О.В. Физиологические эффекты узкополосного красно-синего освещения растений (на примере китайской капусты *Brassica chinensis* L.): автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.01.05 / О.В. Аверчева; МГУ им. М.В. Ломоносова. – М., 2010. – 24 с.
16. Юницкий, А.Э. Особенности проектирования жилого космического кластера «ЭкоКосмоДом» – миссия, цели, назначение / А.Э. Юницкий // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьяна Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 51–57.



# Применение микрклонального размножения растений в условиях ЭкоКосмоДома

Зяц В.С.  
Налетов И.В.

ЗАО «Струнные технологии»,  
г. Минск, Беларусь



Описана возможность применения микрклонального размножения растений в условиях замкнутой экосистемы ЭкоКосмоДома (ЭКД). Представлен способ вегетативного размножения растительных культур *in vitro*, а также обозначены преимущества и недостатки такого подхода для замкнутых экосистем бесконечно долгого существования. Указаны необходимые составляющие для создания условий внедрения данной технологии в закрытом изолированном пространстве.

*Ключевые слова:* замкнутая экосистема, микрклональное размножение, растения *in vitro*, фитогормоны, ЭкоКосмоДом (ЭКД).

УДК 632.08



## Введение

Микроклональное размножение растений – альтернативный способ массового производства саженцев за относительно непродолжительный период. Данный метод более предпочтителен по сравнению с обычным вегетативным размножением: черенками и отводками. Основное преимущество – получение за короткое время большого количества оздоровлённых (без патогенных организмов) растений, характеризующихся высокой однородностью. Успех микроклонального размножения зависит от многих факторов: состава питательной среды, условий культивирования, генотипа маточного растения [1]. Разработка методик быстрого размножения *in vitro* любых видов растительных культур имеет значимый коммерческий потенциал при реализации данной технологии в промышленных масштабах.

Помимо использования в современном сельском хозяйстве такой способ производства растений может найти широкое применение в искусственных экосистемах, созданных для долгого существования человека. Настоящее исследование особо актуально для функционирования фитоценоза замкнутых экосистем, например ЭкоКосмоДома (ЭКД) [2, 3], где поддержание генетически стабильной популяции является неотъемлемой частью сохранения баланса в закрытой среде.

## Классические основы микроклонального размножения растений

Микроклональное размножение растений можно условно разделить на несколько этапов:

1) отбор растений-доноров (маточных растений), а также их фитопатологическая диагностика – подбор наиболее генетически здоровых организмов;

2) стерилизация и введение эксплантов в культуру *in vitro* – перевод растения в пробирку;

3) микроразмножение – получение черенков с большим количеством междоузлий, без корней;

4) укоренение побегов – перенос микрочеренков на новую питательную среду для стимуляции ризогенеза;

5) адаптация полученных растений к полевым условиям.

Для каждого сорта растительной культуры необходим тщательный подбор питательной среды, которая должна содержать минеральные компоненты в различных количествах, сахарозу, агар-агар, а также естественные фитогормоны [4, 5]. По функциональному действию различают пять основных групп фитогормонов: ауксины, цитокинины, гиббереллины, абсцизины и этилен. Ауксины в культуре тканей вызывают рост клеток растяжением, в больших концентрациях – деление клеток, в сочетании с цитокининами – органогенез. В биотехнологии применяют как природные ауксины (индолилуксусная кислота – ИУК), так и синтетические (индолил-3-масляная кислота – ИМК, индолил-3-пропионовая кислота – ИПК, 2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота – 2,4-Д, нафтилуксусная кислота – НУК).

На рисунке 1 представлены стадии роста винограда культурного сорта «маркетт» при микроклональном размножении. Эксперимент проводился в лаборатории отдела биотехнологий ЗАО «Струнные технологии».



а)

б)

в)

Рисунок 1 – Стадии роста винограда культурного сорта «маркетт» при микроклональном размножении:

а – на стадии пробирки, готовый к адаптации (1–1,5 месяца со стадии черенка);

б – на стадии адаптации (одна неделя с момента высадки из пробирки);

в – саженец, готовый для посадки в открытый грунт (1–1,5 месяца с момента высадки из пробирки)

Экономическая выгода производства растений *in vitro* обусловлена несколькими факторами:

- минимальные площади выращивания посадочного материала;
- минимальные затраты трудовых ресурсов;
- минимальные затраты на исходные материалы (достаточно одного растения);
- максимальный выход посадочного материала с одного растения (1000–10 000 саженцев).

Значимая особенность растений *in vitro* – это сохранение генетической стабильности и упрощение процесса хранения генетической информации.

## Особенности переноса технологии в условия замкнутой экосистемы

Для ЭКД производство растений *in vitro* может стать неотъемлемой частью существования замкнутого пространства. ЭКД представляет собой систему из двух капсульных цилиндров с взаимным вращением вокруг общей оси [3]. Диаметр внешнего цилиндра составляет 500 м, внутреннего – 300 м при длине 500 м. Общая длина сооружения – 1 км. Имеющиеся планировки по заселению жилой зоны предусматривают размещение не менее 5000 человек, а при высокоплотной застройке – около 10 000 человек. Данные параметры были учтены при расчёте потребности ЭКД в растениях семи групп: плодовые деревья, овощные культуры, экзотические плодовые растения, водные, продовольственные, технические, лекарственные растения (таблица 1). Помимо обеспечения и поддержания

в фитоценозе такого количества растительных культур технология *in vitro* позволит сохранить их видовое разнообразие, генетическую стабильность по видовым и сортовым признакам, ускорить способы получения посадочного материала.

Кроме того, ЭКД нуждается в территориях для маточных растений. Площади маточников для культур, размножаемых естественным способом и *in vitro*, практически одинаковы, однако приживаемость побегов различается. Потери при размножении отводками и черенками составляют до 40–50 %, а при использовании *in vitro* – 2 %. Ориентировочные участки, необходимые для реализации технологии микроклонального размножения в ЭКД, – 75 м<sup>2</sup>, около 50 м<sup>2</sup> потребуется на маточники, 25 м<sup>2</sup> – на лабораторию (15 м<sup>2</sup> – на помывочную с автоклавом и для приготовления питательных сред; 10 м<sup>2</sup> – на небольшую световую комнату для доращивания культур, а также на ламинарный бокс).

Для организации технологии микроклонального размножения в условиях замкнутой экосистемы важно предусмотреть следующее лабораторное оборудование:

- ламинарный бокс;
- автоклав для стерилизации пробирок и колб;
- лабораторные весовые приборы;
- лабораторная посуда;
- реактивы (соли) для приготовления питательных сред;
- световые стеллажи.

В качестве питательной среды для размножения растений в основном применяются среды Мурасиге – Скуга, Андерсона и их незначительные модификации. Основой питательных сред, предназначенных для культивирования

Таблица 1 – Минимальная потребность в растениях для ЭКД

Группы растений	Расчётная потребность ЭКД, шт.
1. Плодовые деревья	3000
2. Овощные культуры	100 000
3. Экзотические плодовые растения	10 000
4. Водные растения	500 000
5. Продовольственные растения	200 000
6. Технические растения	200 000
7. Лекарственные растения	200 000
Итого	1 213 000

растительных эксплантов, является смесь минеральных солей: соединения азота в виде нитратов, нитритов, солей аммония; фосфора – в виде фосфатов; серы – в виде сульфатов; растворимых солей  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ . Железо используется в виде хелатов ( $FeO_4$  или  $Fe_2O_4$  + ЭДТА (этилендиаминтетрауксусная кислота) или её динатриевая соль (трилон Б)) – наиболее доступной форме для усвоения растительными тканями. Для стимуляции биохимических реакций в клетке применяют биологические катализаторы – витамины группы В ( $B_1$ ,  $B_6$ ,  $B_{12}$ ), С (аскорбиновая кислота), РР (никотиновая кислота), мезоинозит.

Состав среды подбирается индивидуально для каждого вида растений, учитывая межсортовые различия.

В лаборатории отдела биотехнологий ЗАО «Струнные технологии» разрабатываются способы производства культурных, декоративных и лекарственных растений (рисунок 2). Для каждой растительной культуры подбираются методы стерилизации и питательные среды с соответствующим содержанием фитогормонов и витаминов.

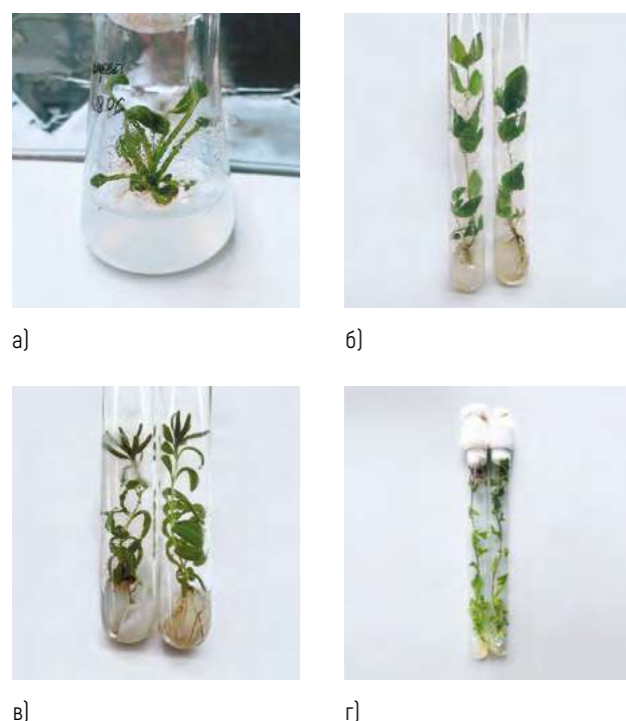


Рисунок 2 – Растения, полученные методом микроклонального размножения в лаборатории отдела биотехнологий ЗАО «Струнные технологии»: а – шалфей лекарственный (*Salvia officinalis*); б – жимолость съедобная (*Lonicera edulis*); в – лаванда узколистная (*Lavandula angustifolia*); г – лобелия садовая (*Belvia erinus*)

Необходимый персонал для лаборатории: два сотрудника со средним образованием (для производства посадочного материала и ухода за растениями); один сотрудник с высшим биологическим образованием (для контроля процесса, а также разработки постановки экспериментов). В отличие от рыночной реализации, в эксперименте отсутствует круглогодичная потребность в саженцах, поэтому занятость сотрудников может быть распределена и на другие работы. Среднее количество черенков, производимых одним сотрудником (с учётом времени на приготовление питательных сред, подготовку посадочного материала, стерилизацию инструментов, мойку посуды), – около 1500 штук в месяц. Дорастивание таких черенков до высадки в грунт, включая период адаптации, составляет от месяца (для травянистых растений) до года (для древесных культур). Кустарниковым растениям необходимо около трёх месяцев. Например, после посадки микрочеренка винограда в стерильную питательную среду проходит около месяца, затем 1–1,5 месяца длится период адаптации к условиям почвенного субстрата в световых комнатах, после этого саженцы готовы к высадке в открытый грунт.

### Преимущества и недостатки применения технологии микроклонального размножения растений в условиях замкнутой экосистемы

Ввиду того что в замкнутой среде предполагается постоянный дефицит новых растительных культур и необходима наработка их большого количества внутри экосистемы для поддержания должного генетического разнообразия, применение технологии размножения растений *in vitro* является оптимальным решением [6]. В лаборатории отдела биотехнологий полностью отработана технология микроклонального размножения винограда культурного четырёх сортов («маркетт», «солярис», «бриана», «кристалл») от черенка до саженца, пригодного для посадки в открытый грунт. Для сравнения процентов выхода жизнеспособных саженцев использована стандартная методика черенкования винограда – одревесневшими черенками. При таком способе приживаемость составила 49 % (49 из 100 черенков), тогда как при высадке растений *in vitro* – 90 %.

Помимо этого, риск получения генетически нестабильных растений снижается благодаря однородности популяции определённого вида и сорта. Однако по прошествии нескольких лет будет сложно поддерживать семенной фонд (в особенности декоративных и плодовых растений)

в связи с вырождением культур и появлением многочисленных генетических aberrаций генома растений. В таблице 2 представлены преимущества и недостатки технологии микроклонального размножения в ЭКД.

Один из недостатков технологии *in vitro* – необходимость постоянного применения фитогормонов [7]. В лабораторных условиях используются химически чистые соединения, закупаемые у поставщиков, что дешевле и проще. Однако в условиях замкнутой экосистемы могут возникнуть сложности с пополнением нужных компонентов, поэтому следует предусмотреть альтернативные пути их получения.

Таким вариантом является применение штаммов ризосферных бактерий *Rhizobium leguminosarum* как продуцентов ИУК [8]. Помимо задействия данных бактерий в микроклональном размножении их можно использовать как биологическое удобрение для почвы [9]. Для получения гиббереллинов возможно применение штамма микромицета *Fusarium moniliforme* [10]. За 8–10 дней глубинного культивирования максимальная продукция гиббереллина составляет 400–700 мг в 1 л культуральной жидкости [11]. Для осуществления данной технологии выбранные штаммы вносятся в банк микроорганизмов и хранятся в лаборатории ЭКД.

### Выводы и дальнейшие направления исследования

Замкнутая экосистема требует разработки множества механизмов и систем поддержания самообеспечения. В ЭКД планируется создание лабораторий, которые способны контролировать все биологические процессы, важные для существования экосистемы. Для сохранения популяций

растительных культур и минимизации потерь при их вырождении необходимы неклассические методы размножения. Наладка микроклонального способа в условиях замкнутой экосистемы обеспечит ЭКД всеми видами растений в нужном количестве и предоставит возможность их пополнения. Однако для данной цели следует организовать производство фитогормонов для приготовления различных питательных сред по предложенным методикам (с помощью микромицетов, ризобактерий).

Кроме того, микроклональное размножение будет использоваться для получения каллусных культур и биологически активных соединений из них, что также найдёт широкое применение в условиях замкнутой экосистемы.

### Литература

1. Kumar, N. *In vitro Plant Propagation: A Review* / N. Kumar, M.P. Reddy // *Journal of Forest and Environmental Science*. – 2011. – Vol. 27, No. 2. – P. 61–72.
2. Юницкий, А.Э. *Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание* / А.Э. Юницкий. – Силакросс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.: ил.
3. *Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьяна Горка, 12 сент. 2020 г.* / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – 516 с.
4. *Microclonal Propagation of Plant Process Modeling and Optimization of Its Parameters Based on Neural Network* / O.A. Ivashchuk [et al.] // *Drug Invention Today*. – 2018. – Vol. 10, No. 3. – P. 3170–3175.

Таблица 2 – Преимущества и недостатки технологии микроклонального размножения растений

Преимущества	Недостатки
Поддержание генетического разнообразия Наработка необходимого количества саженцев Отсутствие потребности в семенном фонде Высокий процент приживаемости Ускорение процесса перехода растений от ювенильной стадии развития к репродуктивной Возможность разведения трудноразмножаемых традиционными способами растений	Применение питательных сред, нуждающихся в постоянном пополнении; сопутствующее создание новых технологий для получения питательных сред в условиях ЭКД Трудоёмкость получения клонов древесных растений, особенно в первые 10–15 лет

5. Сулейманова, С.Д. Микрклональное размножение плодовых культур (обзор) / С.Д. Сулейманова // Восточно-европейский научный журнал. – 2016. – Т. 11, № 2. – С. 47–54.
6. Rout, G.R. In vitro Manipulation and Propagation of Medicinal Plants / G.R. Rout, S. Samantaray, P. Das // Biotechnology Advances. – 2000. – Vol. 18, No. 2. – P. 91–120.
7. George, E.F. Plant Propagation by Tissue Culture / E.F. George, M.A. Hall, G.-J. De Klerk. – 3<sup>rd</sup> ed. – Springer, 2008. – Vol. 1: The Background. – P. 514.
8. Кузнецова, Е.А. Применение *Rhizobium leguminosarum* для получения препарата фитогормонов / Е.А. Кузнецова // Горизонты биофармацевтики: сб. науч. тр. по материалам VI всерос. науч.-практ. конф., Курск, 30 окт. 2020 г. / Курский гос. мед. ун-т; ред.: В.П. Гаврилюк, Л.П. Лазурина. – Курск: КГМУ, 2020. – С. 23–24.
9. Indole Acetic Acid and ACC Deaminase-Producing *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii* SN<sub>10</sub> Promote Rice Growth, and in the Process Undergo Colonization and Chemotaxis / R.B. Bhattacharjee [et al.] // Biology and Fertility of Soils. – 2012. – Vol. 48, No. 2. – P. 173–182.
10. Gibberellic Acid Fermented Extract Obtained by Solid-State Fermentation Using Citric Pulp by *Fusarium moniliforme*: Influence on *Lavandula angustifolia* Mill. Cultivated in vitro / A.L.L. da Silva [et al.] // Pakistan Journal of Botany. – 2013. – Vol. 45, No. 6. – P. 2057–2064.
11. Штамм микромицета *Fusarium moniliforme* – продуцент фитогормонов гиббереллинов А<sub>4</sub>, А<sub>7</sub>; пат. RU 2084531 С1 / Г.С. Муромцев, Л.М. Краснопольская. – Оpubл. 20.07.1997.



# Каллусогенез как альтернативный способ получения биологически активных веществ в замкнутой экосистеме

Налетов И.В.

Зяц В.С.

ЗАО «Струнные технологии»,  
г. Минск, Беларусь



Рассмотрена возможность культивирования клеток растений для производства лекарственного сырья в ЭкоКосмоДоме (ЭКД). По сравнению с классической технологией данный подход способствует более эффективному накоплению действующих веществ (ДВ). Проведена оценка влияния фитогормонов на рост пассированных клеток и количественные показатели накопления биологически активных веществ. Получены каллусные ткани эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea* L.), шалфея лекарственного (*Salvia officinalis* L.), эвкалипта лимонного (*Corymbia citriodora* Hook.), зверобоя продырявленного (*Hypericum perforatum* L.), полыни горькой (*Artemisia absinthium* L.). Изучено накопление ДВ: каftarовой кислоты (эхинацея); эфирного масла (шалфей, эвкалипт, полынь); флавоноидов (зверобой).

**Ключевые слова:** биологически активные вещества, замкнутая экосистема, каллусные ткани, лекарственные растения, ЭкоКосмоДом (ЭКД).

УДК 581.143





## Введение

Лекарственные растения – главный источник природных биологически активных веществ медицинского назначения. В замкнутых экосистемах при ограниченных ресурсах и площадях появляется острая потребность в разработке методов и способов получения с наименьшими издержками лекарственного сырья.

Примерами такой замкнутой экосистемы являются ЭкоКосмоДом (ЭКД) и ЭкоКосмоДом на планете Земля (ЭКД-Земля) [1], где предусматривается круглогодичное проживание людей. Как и в любом закрытом пространстве, человек может столкнуться с развитием респираторных и других инфекционных заболеваний [2]. Соответственно, для благоприятного существования в подобной среде необходимо наличие большой базы лекарственных соединений, их доступность и возможность получения.

На данный момент в условиях городских поселений насчитывается свыше 142 различных вирусов, вызывающих ОРВИ (острая респираторная вирусная инфекция), которая сопровождается повышенной температурой и другими (одним или более) симптомами, такими как озноб, головная боль, общее недомогание, потеря аппетита. Кроме того, ОРВИ, поражая дыхательную систему, проявляется в виде ринита, фарингита, тонзиллита, ларинготрахеита, бронхита, иногда конъюнктивита [3, 4]. Следовательно, сложно переоценить важность организации производства в ЭКД лекарственных соединений из природных источников.

В медицине для борьбы с заболеваниями используют различные препараты, в том числе на основе веществ, выделенных из лекарственных растений.

Потребность в лекарственном растительном сырье постоянно увеличивается, что приводит к сокращению ареала произрастания лекарственных трав из-за неограниченного их сбора населением и фармацевтическими компаниями [5, 6].

К группам полезных веществ можно отнести множество различных компонентов, получаемых в результате долгого синтеза метаболитов внутри клетки [5, 6]. Так, Всемирная организация здравоохранения в монографиях о лекарственных растениях выделяет более 14 семейств: *Papaveraceae*, *Rosaceae*, *Apiaceae*, *Araliaceae*, *Fabaceae*, *Asteraceae*, *Elaeagnaceae*, *Hypericaceae*, *Lamiaceae*, *Peganaceae*, *Plantaginaceae*, *Polygonaceae*, *Tiliaceae*, *Roaceae* и др. [3]. В Государственную фармакопею Республики Беларусь (ГФ РБ) включены свыше 115 различных видов растений [4], относящихся к более чем 20 разным семействам.

В ЭКД лекарственным травам необходимо время и территория произрастания для накопления вторичных

метаболитов в органах и тканях. На смену традиционному способу выращивания приходит культивирование тканей и органов растений на изолированной питательной среде с возможностью влияния на накопление вторичных метаболитов в структуре.

Растения в стрессовом состоянии способны запускать регенерацию посредством образовательной недифференцированной ткани – каллуса. Полученные каллусные клетки в условиях *in vitro* позволяют регулировать накопление биологически активных веществ, оптимизируя питательную среду путём изменения минерального комплекса, корректирования уровня фитогормонов, элиситоров и предшественников синтеза, а также температуры и освещения тканей [5].

Таким образом, основная цель статьи – изучение возможности получения и практического применения извлечённых из растений лекарственных веществ и дальнейшее использование их в условиях замкнутой экосистемы.

## Основная характеристика и потенциальное применение выбранных культур

В настоящее время в отделе биотехнологий ЗАО «Струнные технологии» получены каллусные и суспензионные культуры следующих лекарственных растений: эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea* L.), шалфея лекарственного (*Salvia officinalis* L.), эвкалипта лимонного (*Corymbia citriodora* Hook.), зверобоя продырявленного (*Hypericum perforatum* L.), полыни горькой (*Artemisia absinthium* L.).

Одним из самых известных продуцентов иммуностимуляторов является эхинацея пурпурная; основные классы биологически активных веществ данного растения – водорастворимые полисахариды, гидроксикоричные кислоты, флавоноиды и др. [6].

В фенольных соединениях шалфея лекарственного преобладают фенолкарбоновые кислоты и их производные (хлорогеновая, розмариновая и др.), характеризующиеся антиоксидантным, нейропротекторным, противовирусным, гепатопротекторным действием [7].

Эфирные масла эвкалипта лимонного обладают большим количеством терпеноидов (цитронеллаль, изопулегол и др.), моноциклических терпенов (1,8-цинеол и β-пинен). В медицине цинеол применяют в составе антисептических, отхаркивающих препаратов и в качестве компонента зубных паст.

Зверобой продырявленный включает в себя важные биологически активные соединения: гиперфорин и кверцетин.



Первое вещество действует как естественный антидепрессант, второе считается мощным противораковым препаратом и полезным средством для лечения болезни Альцгеймера [8].

Полынь горькая содержит значительное количество полифенолов, которые составляют самую большую группу природных антиоксидантов, флавоноидов и терпеноидов. Они в свою очередь отличаются биологическим действием при использовании по отдельности, а также синергетически повышают биодоступность артемизина [9], который характеризуется выраженной антималярийной активностью [10].

Все представленные виды растений оказывают различное фармакологическое действие и способны синтезировать вторичные метаболиты, различающиеся по химической структуре и физико-химическим свойствам.

Разведение данных растений в естественной среде может стать фактором ингибирования накопления вторичного метаболита в нужных концентрациях, что приведёт к заметному снижению лекарственного эффекта. Намного целесообразнее культивировать растения в виде каллусных тканей в условиях *in vitro* – такая технология позволит увеличить выход нужного количества лекарственного вещества.

## Материалы и методы

Объект исследования – каллусные культуры, полученные из интактных растений и растений-регенерантов эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea* L.), шалфея лекарственного (*Salvia officinalis* L.), эвкалипта лимонного (*Corymbia citriodora* Hook.), зверобоя продырявленного (*Hypericum perforatum* L.), полыни горькой (*Artemisia absinthium* L.). Каллусную ткань, выделенную из различных частей растений-регенерантов, культивировали на питательной среде Мурасига – Скуга. Кроме того, в ходе эксперимента применялись фитогормоны (согласно дозам внесения, приведённым в таблице 1): из группы ауксинов – 2,4-Д (2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота) и α-НУК (α-нафтилуксусная кислота); из группы цитокининов – 6-БАП (6-бензиламинопуридин) и кинетин. Изучалось их влияние на процесс каллусогенеза.

Растительный материал культивировался в условиях световой комнаты, где поддерживался температурный режим 25 °С, соблюдался 11-часовой фотопериод, а также обеспечивалось освещение белыми люминесцентными лампами интенсивностью 3000 лк. Степень влияния фитогормонов на рост и развитие каллуса оценивалась по его среднесуточному приросту, а также длине, ширине и весу. Индекс прироста каллуса рассчитывался как соотношение конечной массы ткани к изначальной.

Для извлечения фенольных соединений растительный материал измельчался, а затем в аппарате Сокслета подвергался экстракции горячим 96-процентным этанолом. В полученных экстрактах (субстанциях) спектрофотометрическим методом выявлялось суммарное содержание растворимых фенольных соединений (с реактивом Фолина – Дениса), флаванов (с ванилиновым реактивом) и флавонолов (с хлористым алюминием). Калибровочные кривые для определения суммарного содержания растворимых фенольных соединений и флаванов строились по эпикатехину, для определения флавонолов – по рутину.

Таблица 1 – Применение фитогормонов для роста и развития каллусных тканей

Фитогормон	Доза фитогормонов, мг/л									
	Эхинацея пурпурная		Шалфей лекарственный		Эвкалипт лимонный		Зверобой продырявленный		Полынь горькая	
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 1	Вариант 2
2,4-Д	0,5	–	0,5	0,5	–	1	0,5	–	–	0,5
α-НУК	1	0,5	–	–	1	–	–	0,5	1	–
6-БАП	–	–	1	0,5	–	1	0,5	–	–	0,5
Кинетин	0,1	0,5	–	–	1	–	–	1	0,5	–

Для того чтобы вычислить содержание эфирного масла, 20 г испытуемого сырья, измельчённого непосредственно перед экспериментом (кроме эвкалипта), выкладывали в колбу вместимостью 500 мл, затем добавляли 250 мл воды. В градуированную трубку помещали 0,5 мл ксилола. Перегонка проводилась со скоростью 2–3 мл/мин в течение 2 ч (для шалфея и эвкалипта) и 3 ч (для полыни) [4].

## Результаты и обсуждения

### Образование каллусных тканей растениями в условиях *in vitro*

В ходе эксперимента отмечено, что в каллусогенезе ключевая роль принадлежит двум аспектам:

- содержанию фитогормонов в питательной среде;
- накоплению действующих веществ (ДВ) в каллусе, напрямую зависящему от формировавшей его минеральной среды.

В связи с этим на практике был применён двух-этапный способ клеточного культивирования: на первой стадии растения находились в питательной среде, содержащей гормон для роста каллуса; на второй – перемещались на продуцирующую питательную среду, в которой и начинался активный синтез вторичных метаболитов в клетках.

Согласно полученным данным максимальный индекс роста отмечен в образцах с полынью горькой (α-НУК – 1 мг/л; кинетин – 0,5 мг/л) и шалфеем лекарственным (2,4-Д – 0,5 мг/л; 6-БАП – 1 мг/л) (рисунок 1).

Равное содержание фитогормонов ауксинов по отношению к цитокинам не привело к активному росту каллуса. В первые дни пассирования каллуса все ростовые показатели были схожи с вариантами, имеющими неравные соотношения фитогормонов.

Эхинацея пурпурная: 2,4-Д – 0,5 мг/л; α-НУК – 1 мг/л; кинетин – 0,1 мг/л  
 Эхинацея пурпурная: α-НУК – 0,5 мг/л; кинетин – 0,5 мг/л  
 Шалфей лекарственный: 2,4-Д – 0,5 мг/л; 6-БАП – 1 мг/л  
 Шалфей лекарственный: 2,4-Д – 0,5 мг/л; 6-БАП – 0,5 мг/л  
 Эвкалипт лимонный: α-НУК – 1 мг/л; кинетин – 1 мг/л  
 Эвкалипт лимонный: 2,4-Д – 1 мг/л; 6-БАП – 1 мг/л  
 Зверобой продырявленный: 2,4-Д – 0,5 мг/л; 6-БАП – 0,5 мг/л  
 Зверобой продырявленный: α-НУК – 0,5 мг/л; кинетин – 1 мг/л  
 Полынь горькая: α-НУК – 1 мг/л; кинетин – 0,5 мг/л  
 Полынь горькая: 2,4-Д – 0,5 мг/л; 6-БАП – 0,5 мг/л

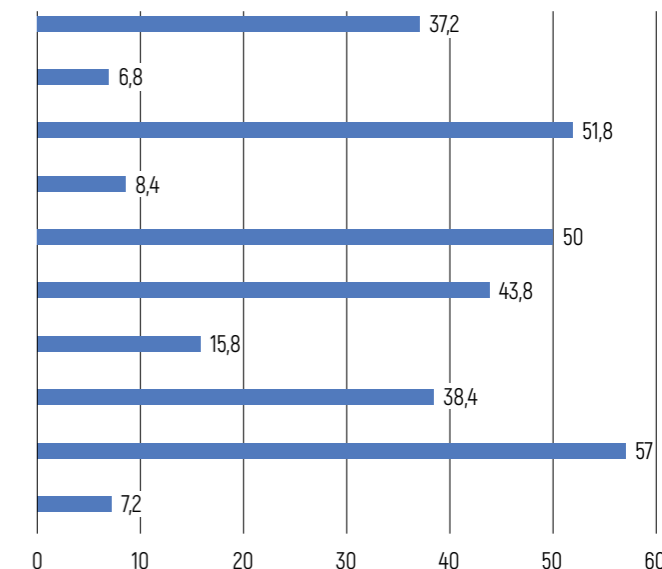


Рисунок 1 – Индекс роста каллусных тканей

### Накопление действующих веществ в каллусных тканях растений

Для того чтобы выявить степень накопления ДВ в клетках пассированного каллуса растений, проведена сравнительная оценка содержания ДВ в различных условиях произрастания; требования ГФ РБ выступили как контрольные показатели содержания ДВ. Полученные данные представлены в таблице 2.

Эхинацея пурпурная является инвазивным видом на территории Беларуси; сумма фотосинтетически активной

радиации (ФАР), приходящейся на растение, недостаточная, что сказывается на суммарном накоплении ДВ в тканях.

При исследовании содержания ДВ (кафтаровая кислота в пересчёте на килограмм сухой массы растений) в растениях, культивированных на территории Крестьянского (фермерского) хозяйства «Юницкого» (КФХ «Юницкого») в 2021 г., обнаружено 0,1 % кафтаровой кислоты на сухую массу. При этом в сырье, произведённом на территории Германии (предлагается в аптеках г. Минска), показатель составил 0,18 % на сухую массу.

Таблица 2 – Сравнительные экспериментальные данные содержания ДВ в тканях растений, культивируемых при разных условиях

Растение	Основной лекарственный компонент	Показатель по ГФ РБ	Аптечное сырьё	Растения, культивированные в КФХ «Юницкого»	Дикорастущие растения	Каллусные ткани
Эхинацея пурпурная	Кафтаровая кислота, %/кг сух. массы	0,1	0,18	0,1	–	0,22
Шалфей лекарственный	Эфирное масло, мл/кг сух. массы	8	9,4	8,1	6,1	4,7
Эвкалипт лимонный	Эфирное масло, мл/кг сух. массы	10	12,4	–	–	11,7
Зверобой продырявленный	Флавоноиды, %/мл рутин	1,5	1,5	2,4	0,4	1,8
Полынь горькая	Эфирное масло, мл/кг сух. массы	2	4,8	5,1	2,7	1,8

Такое содержание активных компонентов соответствует требованиям ГФ РБ; следовательно, подобную сырьё может считаться лекарственным.

Каллусные ткани, полученные из произрастающих на территории КФХ «Юницкого» растений и пассированные на питательной среде Мурасига – Скуга с добавлением фитогормонов 2,4-Д (0,5 мг/л), α-НУК (1 мг/л), кинетина (0,1 мг/л), за 30 дней накопили вторичных метаболитов в 2,2 раза больше, чем требует ГФ РБ, и в 1,2 раза больше, чем допустимо для реализации лекарственного сырья. При дальнейшем наблюдении содержание ДВ в каллусе значительно снижалось, что может быть связано с заметным замедлением темпа развития каллуса растения на 30-е и последующие сутки.

Шалфей лекарственный также не типичен для флоры Беларуси. Лечебный эффект имеет благодаря эфирному маслу, которое получают из цветков и листьев растения и содержание которого напрямую зависит от ряда факторов, таких как уровень температуры, продолжительность светового дня, количество поступивших минеральных веществ и др.

Эфирного масла в тканях вегетируемых инвазивных культур в 1,16 раза больше, чем в растениях, разводимых на территории КФХ «Юницкого». Требования к абиотическим факторам у шалфея весьма высоки. Представители флоры, произрастающие не в Беларуси, накапливают больше ДВ, чем выращенные в нашей республике, однако шалфей, культивируемый на территории КФХ «Юницкого», сформировал достаточное количество эфирного масла согласно требованиям ГФ РБ.

Пассированный каллус шалфея не способствовал значительному приросту эфирного масла в тканях. При детальном изучении установлено, что клетки каллуса активно делились. Кроме того, он был довольно плотным и образовывал большое количество колленхимы (механических тканей), что приводило к меньшему накоплению ДВ.

Эвкалипт лимонный накапливает много эфирного масла, имеющего существенное количество терпеноидов. Норма содержания эфирного масла – не менее 10 мг/кг сухого вещества; в каллусе же удалось получить более 11 мг/кг. Каллус эвкалипта обладал рыхлой тканью чёрного цвета; в каллусе, образованном из листовой пластины, находилось ДВ в 4,01 раза больше, чем из стебля.

Зверобой продырявленный характеризуется различными типами секреторных структур, специализирующихся на хранении метаболитов и распространённых во всех репродуктивных и вегетативных тканях растения.

Бледные железы (рисунок 2), содержащие большое количество гиперфорина, сконцентрированы в листовой

пластине; они пронизывают паренхиму и ограничиваются двумя слоями клеток эпидермиса.

Тёмные железы, содержащие гиперин, морфологически располагаются по всему растению равномерно и погружены в мезофилл двумя слоями уплотнённых клеток.

При пассировании каллуса зверобоя (рисунок 3) удалось получить синтез данных желёз в структуре каллуса; при этом накоплено большое количество ДВ, в 1,3 раза превышающее требуемую норму. Каллус не останавливался в росте на 30-е сутки – он продолжал расти, сохранив активное деление.

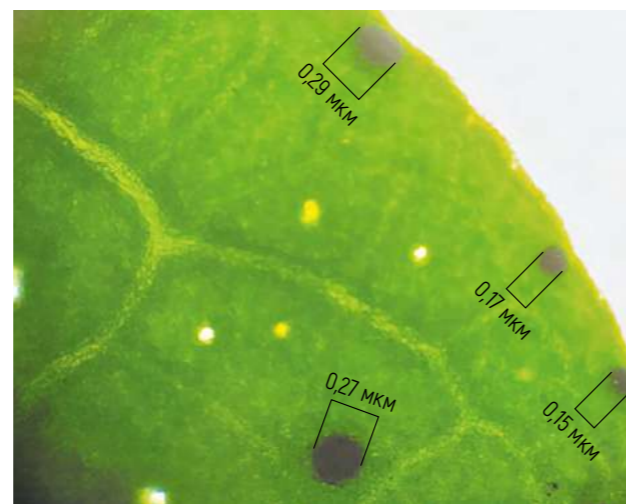


Рисунок 2 – Морфологическое расположение желёз на листе зверобоя продырявленного

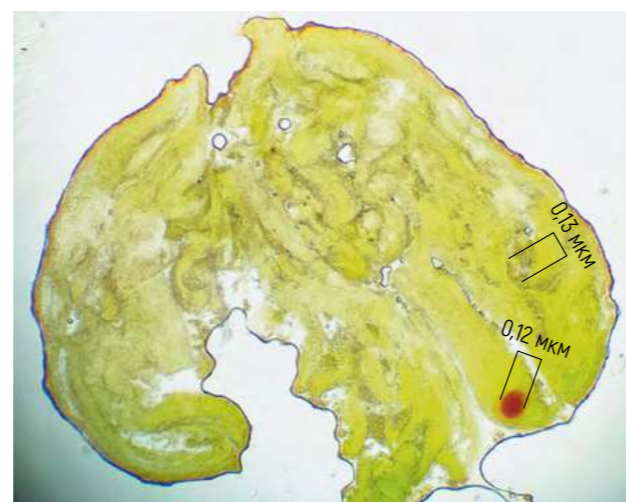


Рисунок 3 – Расположение желёз в каллусе зверобоя продырявленного

Эфирное масло полыни горькой накапливается в капсулах эпидермиса, а также в волосках самого растения. При пассировании каллуса полыни образование данных капсул не столь существенно, как при естественной вегетации, что привело к снижению содержания масла в структуре каллуса. Однако при культивировании каллуса в жидкой среде содержание эфирного масла возросло незначительно.

## Выводы и дальнейшие направления исследования

Доказано, что накопление ДВ в каллусе тканей растений напрямую зависит от донорских органов, из которых получен сам каллус. Фитогормоны зачастую служат активаторами процессов вторичных метаболитов, однако существуют белковые и элиситорные компоненты, способствующие направленному метаболизму в клетках, что требует дальнейших подтверждений.

Отмечено, что количество вторичных метаболитов, накапливаемых в каллусных тканях, в большинстве случаев превышает их содержание в вегетируемых растениях. Условия культивирования подобных клеток, т. е. размещение в стерильной среде, способствуют снижению патогенной нагрузки на организм растений. При отсутствии патогенов синтез вторичных метаболитов будет изолированным и направленным.

Каллусогенез как методика получения биологически активных соединений находит своё применение при производстве некоторых лекарственных веществ из растений. Каллусогенез исследуемых растений – наиболее оптимальный способ выделения многих видов лекарственных соединений из растительного сырья в условиях ЭКД. Данная технология, предполагающая задействование минимальных площадей, позволит наладить в замкнутой экосистеме производство лекарственных компонентов в лечебных и профилактических целях, а также растительного сырья (в сыром или сушёном виде) для приготовления чаёв, настоев, натуральных ароматизаторов.

## Литература

1. *Unitsky, A. System Foundations of Non-Rocket Near Space Industrialization: Problems, Ideas, Projects / A. Unitsky. – Minsk: Gradient, 2021. – 568 p.: il.*
2. *Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн.*

*конф., Марьино Горка, 12 сент. 2020 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – 516 с.*

3. *Монографии ВОЗ о лекарственных растениях, широко используемых в Новых независимых государствах (ННГ). – ВОЗ, 2010. – 460 с.*
4. *Государственная фармакопея Республики Беларусь (ГФ РБ II): в 2 т. / М-во здравоохран. Респ. Беларусь, УП «Центр экспертиз и испытаний в здравоохранении»; под общ. ред. А.А. Шерякова. – Молодечно: Победа, 2012. – Т. 1: Общие методы контроля качества лекарственных средств. – 1220 с.*
5. *Санталова, Г.В. Респираторные вирусные инфекции: подходы к терапии с позиции клинико-патогенетических аспектов заболевания / Г.В. Санталова, С.В. Плехотникова // Медицинский совет. – 2022. – Т. 16, № 1. – С. 36–41.*
6. *Фитохимический состав представителей рода Эхинацея (Echinacea Moench.) и его фармакологические свойства (обзор) / В.Н. Самородов [и др.] // Химико-фармацевтический журнал. – 1996. – Т. 30, № 4. – С. 32–37.*
7. *Polyphenol-, Mineral Element Content and Total Antioxidant Power of Sage (Salvia officinalis L.) Extracts / M. Then [et al.] // XXVI International Horticultural Congress: The Future for Medicinal and Aromatic Plants, Toronto, 11–17 Aug. 2002 / Acta Horticulturae. – Toronto, 2004. – P. 123–129.*
8. *Goodine, T. Corymbia citriodora: A Valuable Resource from Australian Flora for the Production of Fragrances, Repellents, and Bioactive Compounds / T. Goodine, M. Oelgemöller // ChemBioEng Reviews. – 2020. – Vol. 7, No. 6. – P. 170–192.*
9. *The Biochemical and Genetic Basis for the Biosynthesis of Bioactive Compounds in Hypericum perforatum L., One of the Largest Medicinal Crops in Europe / P. Rizzo [et al.] // Genes. – 2020. – Vol. 11, No. 10. – P. 1–20.*
10. *Kano, S. Artemisinin-Based Combination Therapies and Their Introduction in Japan / S. Kano // Journal of Infection and Chemotherapy. – 2010. – Vol. 16, No. 6. – P. 375–382.*

# Принципы создания генетического банка живых организмов для длительного существования замкнутой экосистемы

Пятакова Т.И.

Налетов И.В.

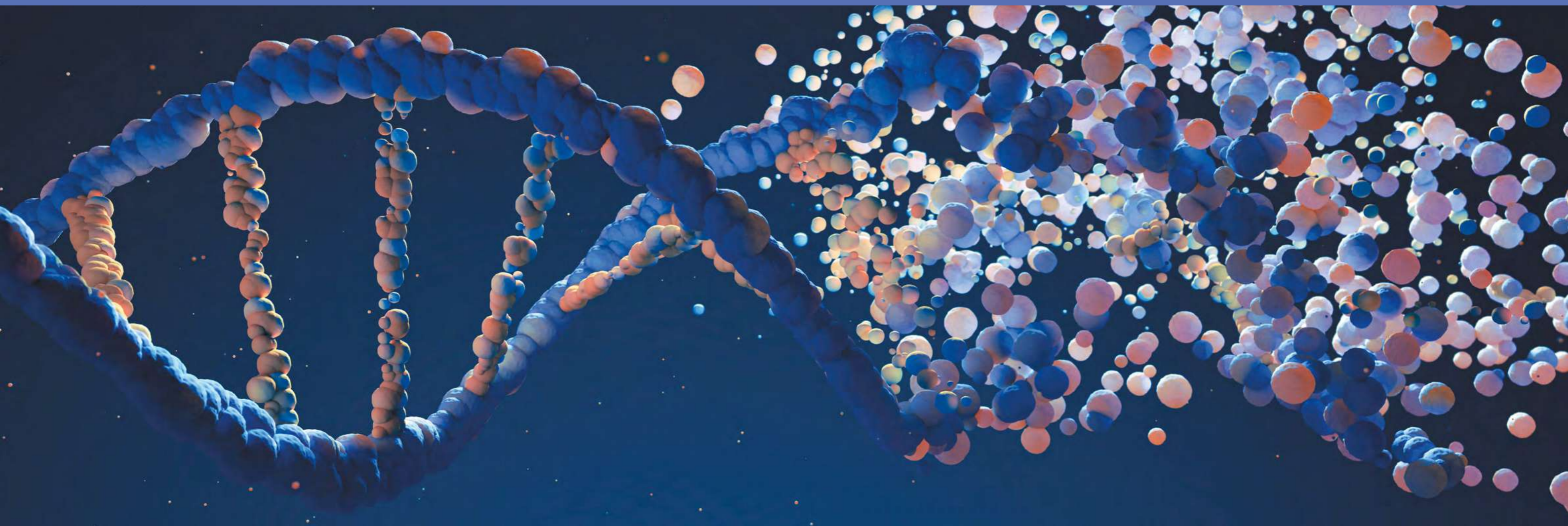
ЗАО «Струнные технологии»,  
г. Минск, Беларусь



Представлены принципы создания генетического банка живых организмов (микроорганизмы, растения, животные), особенности их существования в замкнутой экосистеме ЭкоКосмоДома (ЭКД). Рассмотрены теоретические аспекты, предложены возможные решения по поддержанию жизни популяции в условиях изолированного пространства.

*Ключевые слова:* генофонд, замкнутая экосистема, криоконсервация, лиофилизация, популяция, ЭкоКосмоДом (ЭКД).

УДК 575.174.5



## Введение

Для бесконечно долгого существования замкнутых экосистем (например, ЭкоКосмоДом (ЭКД) [1, 2]) важна продовольственная безопасность людей, т. е. обеспечение достаточным количеством продуктов питания, создание безотходных технологий и сохранение плодородия почв, что может быть достигнуто при ведении племенного хозяйства, семеноводства и при поддержании банка штаммов микроорганизмов.

Любая популяция (микроорганизмы, растения, животные) стремится к появлению гомозиготных линий, которые способны накапливать рецессивные аллели, провоцирующие возникновение заболеваний. Кроме того, в популяциях может происходить кроссинговер, приводящий к изменению генотипа живых организмов, а также к мутациям.

Цель данного исследования – изучение проблематики существования живых организмов (микроорганизмы, растения, животные) на уровне генетической информации и предоставление решений по эффективному поддержанию здоровых популяций в условиях замкнутой экосистемы.

## Микроорганизмы

Минеральные удобрения, используемые в современном сельском хозяйстве, имеют свойства накапливаться в грунте путём связанности с другими компонентами и переходить в недоступную для растений форму. При исследовании земель в различных регионах Беларуси отмечается дефицит органических удобрений; содержание гумуса в почве варьируется от 0,9 до 2 % [3]. Вместе с тем сельскохозяйственные предприятия ежегодно перед основными процессами культивирования растений (в период осенней и весенней обработок) вносят минеральные (туковые) удобрения, вызывая засоление почвы и вымывание отдельных элементов в грунтовые воды под действием дождей и талых вод. Подобные технологии не могут и не должны быть внедрены в замкнутой экосистеме ЭКД. Использование альтернативных приёмов, повышающих урожайность сельскохозяйственных культур, является основной концепцией существования ЭКД. Один из таких методов – применение бактериальных препаратов.

Известно, что данные вещества благоприятно влияют на 60–70 % сельскохозяйственных культур. Микроорганизмы улучшают азотное и фосфорное питание растения, способствуют развитию его иммунной системы, а также увеличивают урожай на 20–30 % и более. Кроме того, они частично компенсируют недостаток минеральных удобрений

в почве за счёт поступления азота и фосфора в выращиваемые культуры. Продукты жизнедеятельности микроорганизмов повышают поглотительную и синтетическую активность корневой системы.

Однако активность интродуцированных микроорганизмов связана с их приживаемостью в слоях почвы. От правильного подбора штамма, агрономических смесей и ассоциаций зависит концентрация микроорганизмов. Для того чтобы гарантировать эффективность бактериальных препаратов, необходимо преодолеть причины приживаемости микроорганизмов в зоне корней.

Исходя из вышесказанного, следует создать банк микроорганизмов с целью применения в ЭКД. Для этого требуется найти наилучший способ их хранения.

Коллекция микроорганизмов поддерживается при помощи консервации. Полная сохранность популяций и генетической стабильности представляется проблематичной, особенно если учитывать разнообразие микроорганизмов и их жизнеспособность в определённых условиях, которая связана с родом и видом микроорганизмов.

Различают два основных подхода в методах хранения микроорганизмов:

- непродолжительное хранение: периодический переосев на агаризованные среды, содержание культур под минеральным маслом, в водно-солевых растворах и др. Это одни из самых простых способов, которые позволяют сохранять микроорганизмы от нескольких недель до одного года, однако имеют ряд недостатков: диссоциация микроорганизмов, загрязнение, негарантированный срок сохранения жизнеспособности и др. Кроме того, неверный выбор питательной среды может привести к потере микроорганизмов. Большинство подобных методов не годятся для сохранения микроорганизмов;

- длительное хранение. Данный подход способен без потери свойств обеспечивать торможение жизненных процессов, протекающих в клетке. Такой результат достигается двумя путями: глубоким замораживанием микроорганизмов, или криоконсервацией (от  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); высушиванием из замороженного состояния (лиофилизация) или жидкого.

Для поддержания коллекции микроорганизмов целесообразно использовать методы длительного хранения: лиофилизацию и криоконсервацию.

### Лиофилизация микроорганизмов

Под лиофилизацией (лиофильная, сублимационная сушка) понимают технологию высушивания, которая позволяет льду испаряться, минуя жидкую фазу.

Процедура лиофилизации происходит в несколько этапов: заморозка, первичная сушка, досушивание (вторичная сушка) (рисунок 1).

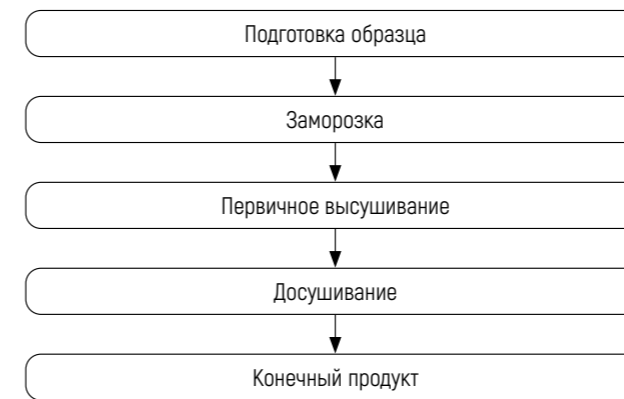


Рисунок 1 – Этапы лиофилизации

От заморозки зависит, каким в итоге будет качество препарата. Если процесс протекает недолго, то в веществе образуется меньше кристаллов льда. Следовательно, при высушивании влага испаряется значительно быстрее (рисунок 2).

Заморозка требуется для сохранения всех свойств, а также для поддержания жизнеспособности микроорганизмов. Замораживание проводится при температуре от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Оценить качество лиофильной сушки можно по таким параметрам, как скорость растворения препарата

(не более 1–2 мин), остаточная влажность (не более 1–3 %), исходная вязкость препарата после его растворения (зависит от среды растворения), pH-среда вещества (pH 7–7,4) [4].

### Криоконсервация микроорганизмов

Почти все изученные группы бактерий могут сохраняться на протяжении длительного времени в замороженном состоянии при низких (криогенных) температурах (менее  $-153\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) [5–8].

При криоконсервации наиболее распространено использование жидкого азота, так как он доступен, безопасен и является оптимальным хладагентом для большинства коллекций культур.

Культуры бактерий в некоторых коллекциях эффективно хранятся при температурах, которые обеспечивают современные морозильники (сосуды Дьюара), обычно до  $-86\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При таких условиях скорость отмирания может быть в 1000 раз меньше, чем при  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  [5].

Перед криоконсервацией клетки микроорганизмов выращивают на соответствующей питательной среде – агаризованной или жидкой.

В случае медленного охлаждения клеток (со скоростью  $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ ) удаётся добиться наилучших результатов по выживанию и восстановлению бактерий [9, 10]. Хранение проб осуществляется в жидком азоте при температуре  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  или над парами азота при температуре  $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Оттаивание происходит в процессе быстрого нагревания замороженных микроорганизмов, что приводит к их быстрому восстановлению [11].

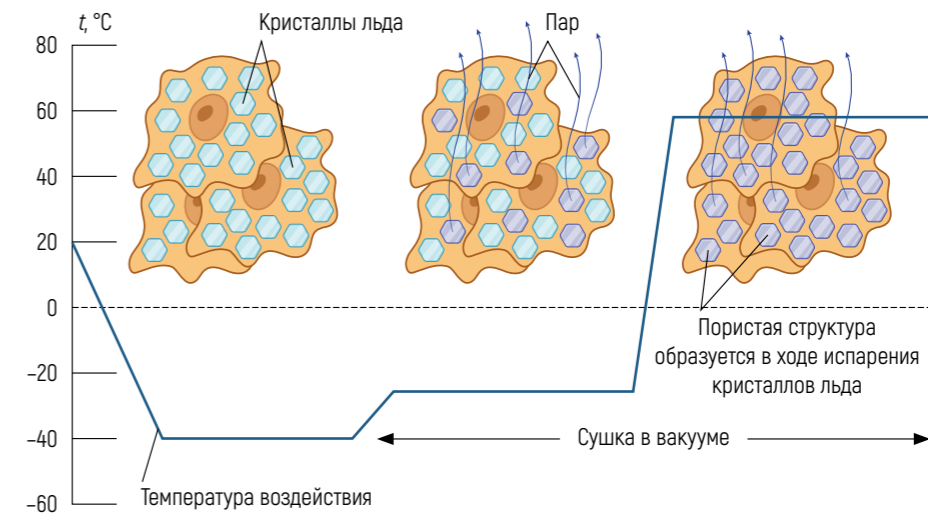


Рисунок 2 – Процесс лиофилизации

## Животные

Племенное животноводство – одно из важнейших направлений сельскохозяйственного производства. Племенным скотом принято считать сельскохозяйственных животных, используемых для разведения и зарегистрированных в государственном реестре.

Хозяйства заинтересованы в выращивании племенных особей. Для решения данного вопроса существует несколько вариантов. Одним из них является покупка племенного молодняка или применение метода трансплантации эмбрионов. Медленнее, но надёжнее – искусственное осеменение собственного поголовья и получение через ряд поколений чистопородных животных.

С целью совершенствования генетических свойств животных требуются механизмы взаимосвязанных и взаимодополняющих действий. Главная задача – оценка племенных качеств животных. Далее – подбор особей в группы и составление родительских пар для получения последующих поколений. Перечисленные мероприятия необходимы для увеличения продуктивности пород животных, используемых в сельском хозяйстве. Ещё один важный аспект – выработка устойчивости к заболеваниям и приспособленность пород к имеющимся кормам.

При анализе смежных поколений можно отметить изменения частот генов в численности животных. Данные изменения – суть генетической эволюции. Естественный и искусственный отбор, миграции, дрейф генов представляют собой основные факторы эволюции.

Инверсия, транслокация, делеция, дупликация считаются одной из причин генетической вариативности в популяциях. Спонтанные изменения генетической информации приводят к накоплению мутаций в фенотипе.

Рекомбинация генной структуры фенотипических признаков у поколений вызывает изменения в половых клетках родителей.

Действующим механизмом естественного отбора в популяциях является дрейф генов, который приводит к мутации генетической структуры численности, в частности в малых популяциях [12].

В гомозиготном или гетерозиготном состоянии любое животное в генотипе имеет аллельные гены. Рецессивные аллели, как правило, расположены в гетерозиготе. При скрещивании близкородственных особей (инбридинг) увеличивается риск слияния одинаковых гамет, несущих в себе видоизменённые гены в гетерозиготном состоянии, и перехода их в гомозиготное состояние. Такая вероятность соответствует степени родства спариваемых животных [13].

Результат инбридинга – изменения генных частот. Кроме того, возможно выщепление рецессивных гомозигот, что ведёт к инбредной депрессии, которая выражается в снижении жизнеспособности и плодовитости животных, рождении аномальных особей [14].

Наибольшее количество рецессивных аллелей отвергается естественным отбором или исключается в процессе селекции. В первую очередь это доминантные признаки, проявляющиеся фенотипически в гетерозиготном состоянии, и численные изменения наборов хромосом. Рецессивно действующие гены в гетерозиготном состоянии и в процессе перестройки структуры хромосом, очевидно, не влияют на жизнеспособность их обладателей [15].

Геномная изменчивость ведёт к образованию в популяциях полиморфизма – разнообразия частот аллелей, гомозигот по доминантным признакам, гетерозигот или гомозигот по рецессивным генам (рисунок 3).

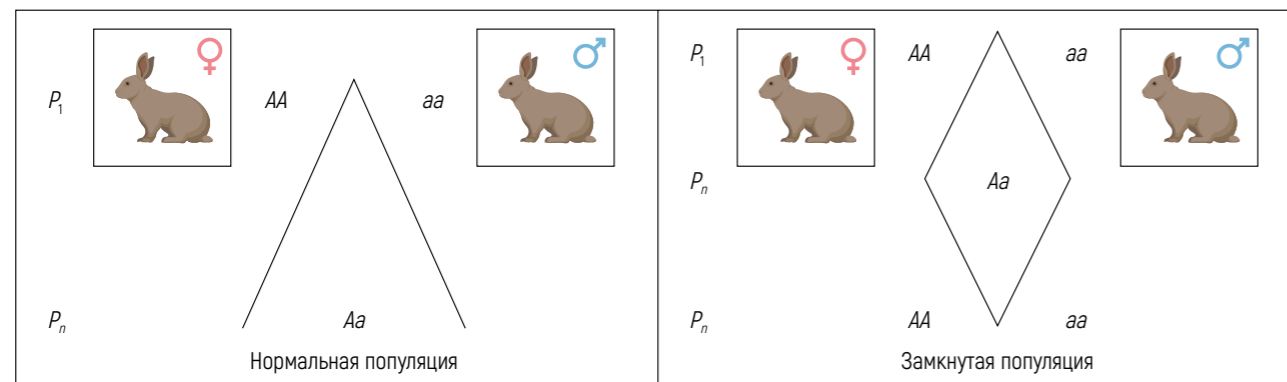


Рисунок 3 – Стремление популяций к гетерозиготному состоянию:  
A – доминантный признак; a – рецессивный признак; P – родители (P<sub>1</sub>, P<sub>n</sub> и т. д.)

Английский натуралист Ч. Дарвин разработал учение об отборе и установил, что образование новых форм живых организмов, изменение и совершенствование имеющихся идут благодаря действию естественного и искусственного отбора [16].

Главное положение его теории – все виды не являются неизменными сотворёнными формами, а представляют собой итог длительного процесса борьбы животных за существование. По наследству от родителей потомству передаются, укрепляются и накапливаются особенности добывания пищи, способы борьбы с соперниками и врагами. Соответственно, каждое новое поколение более организованное, имеет больше шансов пережить слабых и продолжить род. Данный процесс совершенствования видов называется «естественный отбор». Эволюция диких

животных происходит благодаря выживанию и размножению более приспособленных особей [16].

Отбор генетического материала – гаплоидных клеток (сперматозоиды и ооциты) – и его криоконсервация помогут избежать в первом и последующих поколениях близкородственного скрещивания и поддержать желательные качества.

У первого поколения животных, обитающих в ЭКД, сразу будут взяты тотипотентные стволовые клетки и переданы в генетический банк ЭКД (рисунок 4). Генбанк начнёт действовать со второго поколения; у его представителей также будет производиться отбор генетического материала для криоконсервации и использования в искусственном оплодотворении сотого поколения животных ЭКД.

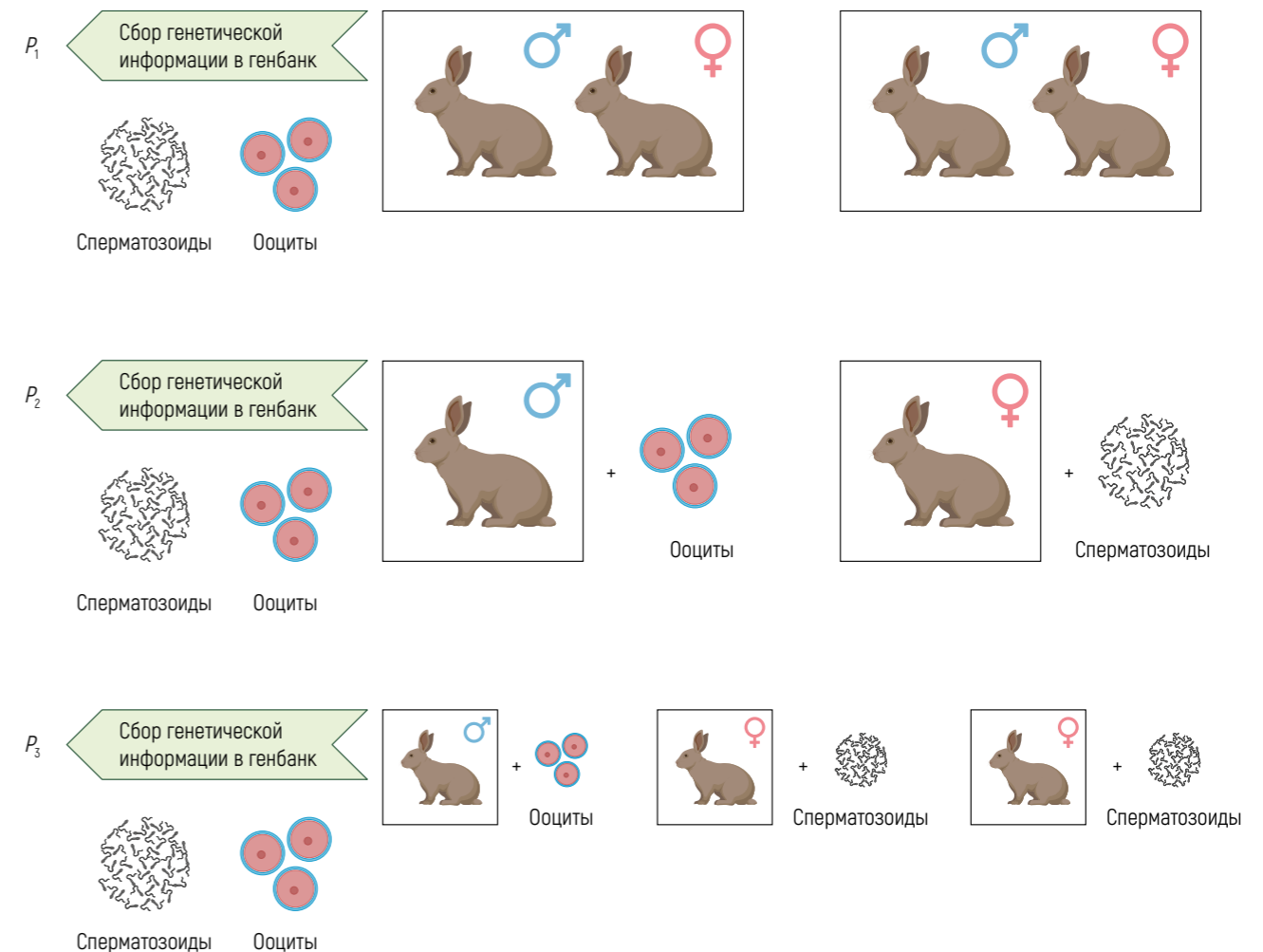


Рисунок 4 – Роль генбанка наследственной информации в замкнутой экосистеме:  
P – родители (P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub> и т. д.)

Для получения наиболее разнообразных генотипов внутри популяции животных ЭКД отобранный материал планируется задействовать только после сотого поколения. До этого времени предполагается использование хранящегося в генбанке ЭКД заранее заготовленного генетического материала, взятого из различных популяций животных 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.

## Растения

Растения в замкнутой экосистеме требуют поддержания константных признаков в популяциях. Значительная часть культивируемых на Земле представителей флоры являются перекрёстноопыляемыми, что приводит к расщеплению потомков по фенотипическим признакам (второй закон Менделя).

Расщепление признаков вызывает у растений дисбаланс полезных для человека свойств, что в конечном итоге становится причиной деградации доместики растений. Условия ЭКД не позволяют брать и пополнять генофонд полезных растительных культур, вследствие чего необходимо вести их генетический банк.

У растений, в отличие от бактерий и животных, существуют каллусные ткани, которые считаются аналогом стволовых клеток. Каллусные клетки обладают тотипотентностью (хранение генетической информации о целом организме в одной клетке), благодаря чему представители флоры способны возобновить целый организм со всеми его функциями.

Каллусогенез значительно облегчает процесс сохранения генофонда растений и ускоряет традиционные способы поддержания фенотипических признаков. Технология, которая поможет получить каллусные ткани, – культура тканей и клеток *in vitro* (микрклональное размножение). Данный метод также избавляет растения от патогенных организмов – вирусных, грибковых и бактериальных [17].

Клетки, образованные при помощи микрклонального размножения, генетически идентичны донорам клеток (маточникам), что помогает передать черенкам уникальность исходного экземпляра. Для производства каллусных культур нужно использовать ткани меристемы или камбия растений (рисунок 5).

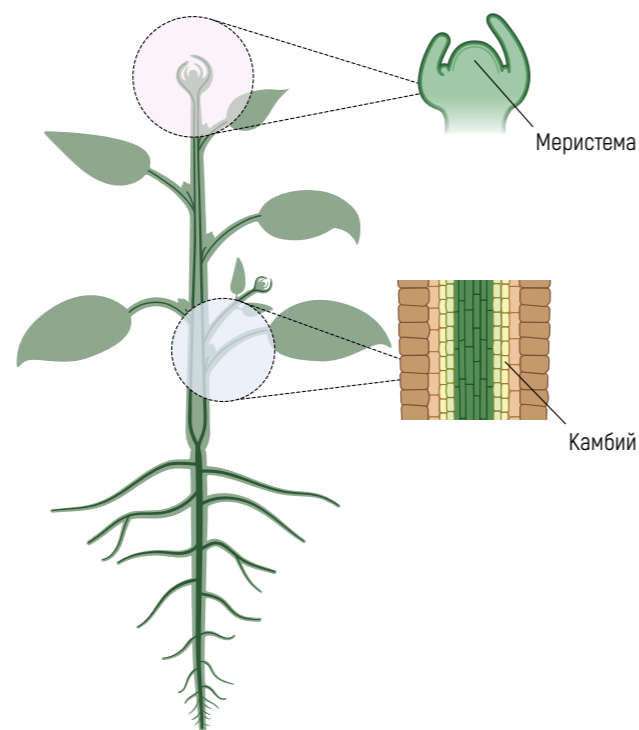


Рисунок 5 – Образовательные ткани растений

В начале процесса микрклонального размножения следует отобрать данные клетки, а затем перенести их на питательную среду, которая содержит минеральные компоненты и фитогормоны, необходимые для роста каллуса (рисунок 6).

Описанный механизм помогает не утратить признаки полезных свойств у растений, однако возникает проблема с длительным сохранением самих клеток. Подобные задачи решает их криоконсервация. Находясь в состоянии глубокой заморозки, клетки растений долго не теряют своей уникальности.

Кроме того, для заморозки клеток применяются различные криопротекторы, которые способствуют уменьшению травмирующего действия физико-химических факторов при криоконсервации.

Авторами настоящего исследования предлагается следующая методика охлаждения:

1) снижение температуры с 20 °С до –35 °С в начале процесса. При этом скорость должна составлять 0,5 °С/мин и клетки должны пребывать в такой температуре не менее 15 мин;

2) погружение в жидкий азот (мгновенное охлаждение до –196 °С) [18].

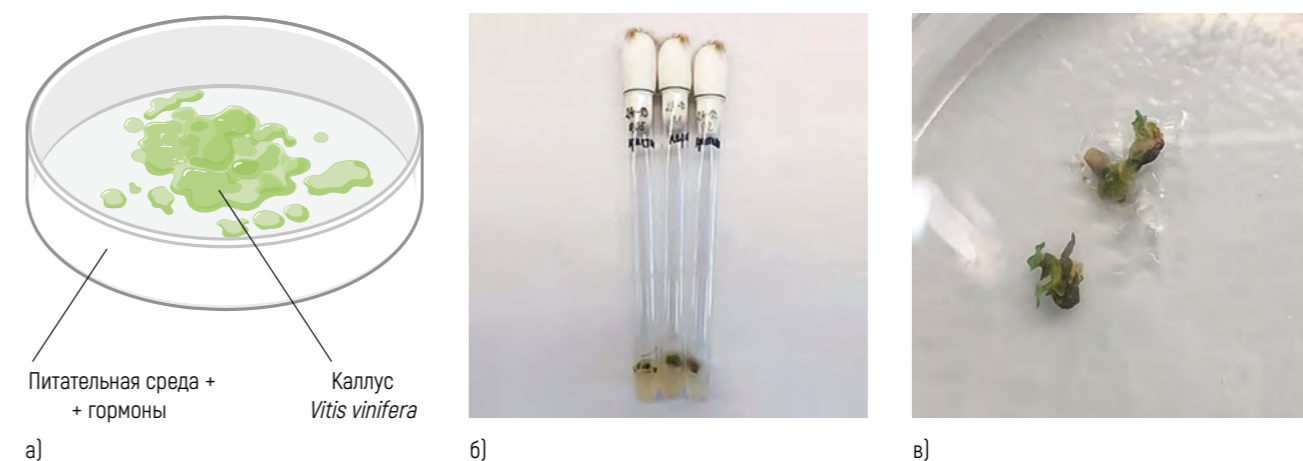


Рисунок 6 – Каллус винограда культурного (*Vitis vinifera*): а – схематическое изображение; б, в – полученный в лабораторных условиях

После процесса размораживания восстановление клеточной активности проходит у растений значительно лучше, чем у животных. Каллусные ткани способны к делению после длительного крионического хранения. Разморозка клеток осуществляется при комнатной температуре. Как только клетки оттают, для возобновления клеточной активности их на 15 мин погружают в раствор 10 % сахарозы или 20 % глюкозы.

Основные способы деления клеток, приводящие к образованию каллуса:

- использование фитогормонов (посредством оптимальной концентрации ауксинов и цитокинов в питательной среде);
- изменение температурного режима (путём шоковой заморозки или кратковременной обработки высокой температурой);
- применение агробактерий (за счёт участков плазмид, отвечающих за стимуляцию выработки ауксинов и цитокинов).

Каллус можно сепарировать и делить на большое количество частей, при этом отделённые от каллуса клетки способны к образованию нового каллуса с последующим новым делением либо выходом в эксплант растений.

## Выводы

Возникновение гомозиготных линий и накопление рецессивных аллелей приводит к различным заболеваниям потомства. Значит, для поддержания стабильной жизни в ЭКД и обеспечения продовольственной безопасности

людей необходимо ведение племенного хозяйства, которое подразумевает применение генетического банка и отбор генетического материала для криоконсервации, и семеноводства по предлагаемой методике (с помощью микрклонального размножения или каллусогенеза). Кроме того, важно создание банка штаммов микроорганизмов, который будет сформирован в условиях замкнутой системы ЭКД с помощью криоконсервации и лиофилизации.

## Литература

1. *Unitsky, A. System Foundations of Non-Rocket Near Space Industrialization: Problems, Ideas, Projects / A. Unitsky. – Minsk: Gradient, 2021. – 568 p.: il.*
2. *Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 12 сент. 2020 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – 516 с.*
3. *Лапа, В.В. Продуктивность зернотравяного севооборота и изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы / В.В. Лапа, М.М. Ломонос // Почвоведение и агрохимия. – 2010. – № 1 (44). – С. 73–79.*
4. *Khandagale, P.M. Lyophilization Technique: A Review / P.M. Khandagale, B.A. Bhairav, R.B. Saudagar // Asian Journal of Research in Pharmaceutical Sciences. – 2016. – Vol. 6, No. 4. – P. 269–276.*

5. Hubalek, Z. *Protectants Used in the Cryopreservation of Microorganisms* / Z. Hubalek // *Cryobiology*. – 2003. – Vol. 46, No. 3. – P. 205–229.
6. Червякова, Н.С. *Использование лиофильных аппаратов камерного типа в коллекциях патогенных микроорганизмов* / Н.С. Червякова, Т.В. Валова, А.В. Осин // *Проблемы особо опасных инфекций*. – 2014. – № 3. – С. 65–68.
7. Donev, T. *Methods for Conservation of Industrial Microorganisms* / T. Donev. – Sofia: NBIMCC, 2001. – 93 p.
8. Stepanskyi, D.O. *Investigation the Long-Term Storage of Aerococcus* / D.O. Stepanskyi, I.P. Koshova, G.M. Kremenchutskyi // *Восточно-европейский научный журнал*. – 2016. – Т. 6, № 1. – С. 70–73.
9. Герна, Р. *Хранение микроорганизмов* / Р. Герна // *Методы общей бактериологии: в 3 т.: пер. с англ. / под ред. Ф. Герхардта [и др.]*. – М.: Мир, 1983. – Т. 1. – С. 512–534.
10. Hammes, W.P. *The Genera Lactobacillus and Carnobacterium* / W.P. Hammes, C. Hertel // *Prokaryotes*. – 2006. – Vol. 4. – P. 320–403.
11. Похиленко, В.Д. *Методы длительного хранения коллекционных культур микроорганизмов и тенденции развития* / В.Д. Похиленко, А.М. Баранов, К.В. Детушев // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки*. – 2009. – № 4 (12). – С. 99–121.
12. Инге-Вечтомов, С.Г. *Генетика с основами селекции* / С.Г. Инге-Вечтомов. – М.: Высш. шк., 1989. – 592 с.: ил.
13. Ніколайчук, В.І. *Генетика з основами селекції* / В.І. Ніколайчук, Б.Б. Надь. – Ужгород: Медіум, 2003. – 196 с.
14. *Генетика: пер. с англ. / Б. Гуттман [и др.]*. – М.: ФАИР-ПРЕСС, 2004. – 448 с.: ил.
15. *Медицинская генетика* / Н.П. Бочков [и др.]. – М.: Мастерство, 2001. – 190 с.
16. Бочков, Н.П. *Клиническая генетика* / Н.П. Бочков. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2004. – 480 с.
17. Налетов, И.В. *Определение порога вредоносности гамма-лучей на сухие зародыши твердой пшеницы (Triticum durum Desf.)* / И.В. Налетов, Д.С. Симоненко // *Инновации и пути повышения эффективности растениеводства: сб. ст. по материалам междунар. науч. конф., посвящ. 180-летию образования БГСХА и 95-летию агроном. фак., Горки, 28 мая 2020 г. / БГСХА; редкол.: Н.А. Дуктова (гл. ред.) [и др.]*. – Горки: БГСХА, 2020. – С. 47–50.
18. Широков, А.И. *Основы биотехнологии растений* / А.И. Широков, Л.А. Крюков. – Н. Новгород: ННГУ, 2012. – 49 с.





# Проживание в ЭкоКосмоДоме как способ предупреждения преждевременного старения организма

Бойко К.А.  
Шемет Д.О.

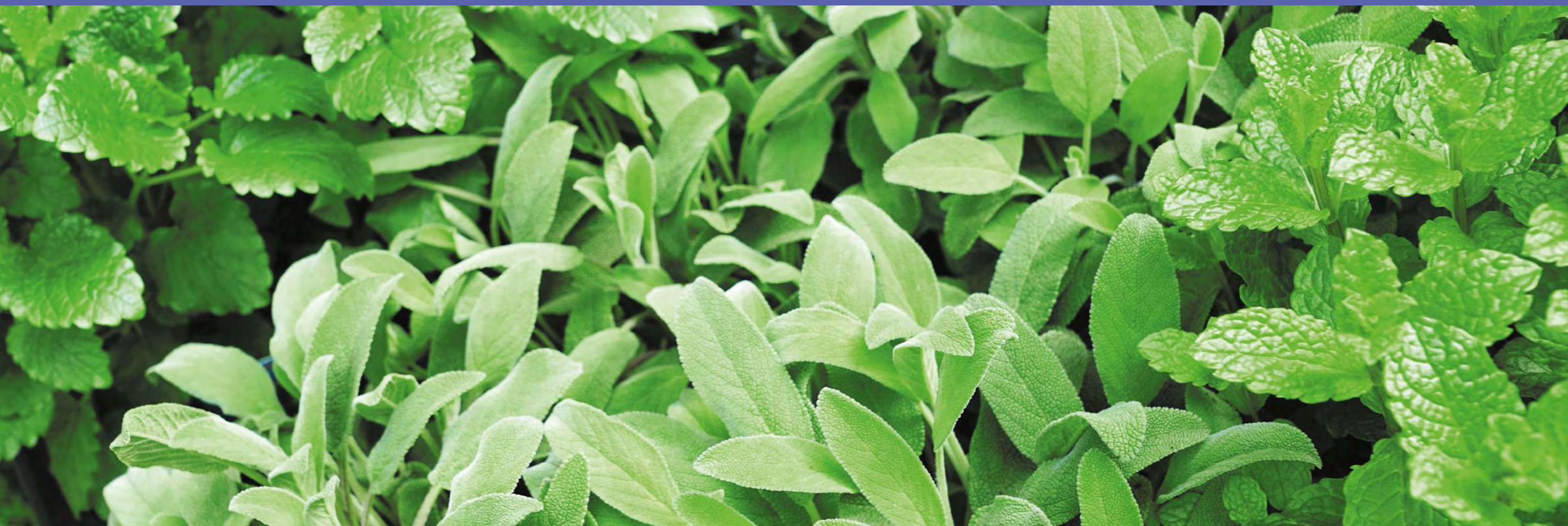
ЗАО «Струнные технологии»,  
г. Минск, Беларусь



Старение человеческого организма – явление, приводящее к неполному использованию видового биологического ресурса, а значит, относящееся к группе медико-социальных проблем. В настоящей статье освещены основные вопросы, связанные с процессом старения. Приведены сведения о факторах риска преждевременного старения. Представлены современные взгляды на средства предотвращения возрастных изменений; показана возможная профилактическая роль ЭкоКосмоДома (ЭКД) в предупреждении данного явления.

***Ключевые слова:** антиоксиданты, замкнутая экосистема, преждевременное старение, профилактика старения, ЭкоКосмоДом (ЭКД).*

УДК 57.042



## Введение

Старение организма – спонтанный процесс, происходящий под действием факторов внешней и внутренней среды; может протекать по физиологическому (естественному) и ускоренному (преждевременному) типу. Естественное старение отличается от ускоренного в первую очередь тем, что не утяжелено болезнями и, соответственно, не требует лечения. Безусловно, ухудшение экологической обстановки провоцирует преждевременное старение людей, возникновение новых заболеваний и поэтому является причиной сокращения продолжительности жизни. Практика показывает, что в последние годы старение в основном протекает по ускоренному типу. Изучение факторов, определяющих этот процесс, и их обнаружение (по мере возможности) позволит разработать мероприятия не только по предупреждению преждевременного старения, но и по поддержанию активного долголетия населения [1].

Во все времена наблюдалось стремление к увеличению средней продолжительности жизни на планете Земля. В околоземных поселениях данная тенденция, очевидно, должна не прерываться, а развиваться. Исследование факторов, влияющих на старение людей, проживающих в ЭкоКосмоДоме (ЭКД), поможет оптимизировать среду обитания и продолжить прогресс цивилизационного развития.

Предлагаемый материал послужит началом процесса поиска путей увеличения продолжительности жизни человека посредством его переселения в ближний космос.

## Причины появления преждевременного старения

### Системные и сетевые механизмы

Существует несколько конкурирующих теорий процесса старения. На сегодняшний день принято, что многие механизмы нарушений функционирования клеток организма человека действуют одновременно; клеткам также необходимо тратить запасы на защиту от протекающих параллельно процессов. Для определения взаимосвязи между механизмами борьбы с функциональными нарушениями представлен системный подход к явлению старения, который принимает во внимание большое количество таких процессов. Кроме того, данный метод помогает чётко разделить факторы, влияющие на организм на различных этапах жизни. К примеру, со временем увеличение количества активных форм кислорода приводит к снижению производства энергии.

## Молекулярный механизм

Первый изученный механизм преждевременного старения – молекулярный. Принципом его негативного воздействия на организм человека являются внутренние и внешние стохастические (случайные) факторы, среди которых – активные формы кислорода (АФК) и активные формы азота (АФА), электромагнитное и радиоактивное облучение.

Молекула кислорода и продукт её полного восстановления водородом – вода – не токсичны. Вместе с тем восстановление молекулы кислорода протекает таким образом, что почти на всех стадиях реакции формируются продукты, повреждающие клетки, – свободные радикалы (супероксидный анион-радикал, перекись водорода (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) и гидроксильный радикал), которые могут образовываться в клетках под действием радиации, химических реакций и перепада температуры. Радикалы оказывают негативное влияние на функции белков, инициируют нарушения в РНК и ДНК, вызывают перекисное окисление липидов [2].

Одновременно с АФК существенную роль в развитии патологических процессов в организме человека играют АФА. К ним относят оксид азота (NO), диоксид азота (NO<sub>2</sub>), нитроксильный анион (NO<sup>-</sup>) и другие физиологические производные оксида азота.

### Изнашивание клеток и их компонентов

Изнашивание клеток и межклеточного вещества – это сочетание макро- и микроповреждений в клетках в процессе их функционирования и/или действия случайных факторов. Разделить подобные факторы не всегда представляется возможным. В ходе нормального функционирования неких клеточных структур организма одновременно происходит напряжение и поломка какого-то их количества, а также образование АФК, АФА и других эндогенных стохастических факторов [3].

Для существования клеток необходим круговорот белков. Для данного процесса критично появление поражённых и лишних белков. Окисленные белки – характерный итог действия АФК, которые формируются в ходе многих протекающих в клетке процессов и нередко препятствуют работе молекул белка. В результате неправильного функционирования молекул белка происходят нарушения в его структуре. Существует мнение, что аккумуляция поражённых белков, возможно, отвечает за такие проявляющиеся с возрастом заболевания, как болезнь Альцгеймера, болезнь Паркинсона и катаракта [4].

## Факторы риска ускоренного старения

### Действие свободных радикалов

Движущая сила патологических процессов в человеческом организме, обуславливающих ускоренное старение и возникновение многих болезней, – избыточное накопление свободных радикалов кислорода, азота, а также повреждённых белков.

Вследствие вредного воздействия свободных радикалов травмируются стенки сосудов, клеточные мембраны, окисляются липиды. Такое состояние называют оксидативным стрессом. В настоящее время доказано участие радикалов и других токсичных форм кислорода в процессе повреждения клеток при ишемической болезни сердца [3].

### Экология и транспорт

Анализируя данные [5], можно сделать заключение, что контаминация атмосферного воздуха способствует увеличению общей смертности населения от сердечно-сосудистых заболеваний.

Наиболее опасным для городского жителя является близкое расположение промышленных предприятий к черте города. Согласно [5], где показано влияние экологических факторов на заболеваемость, доля выбросов работающих предприятий составляет 75 % общего числа атмосферных загрязнений. Расположение вредных для здоровья человека производств рядом с городом предполагает быстрый перенос загрязняющих веществ в его жилую часть.

Вдыхаемый воздух характеризуется в известной мере постоянным составом; представляет собой смесь газов и взвешенных твёрдых частиц (таблица 1) [6]. Около 98 % массы загрязняющего атмосферу планеты вещества относится к газам или газообразным веществам: угарный газ (CO), неметановые углеводороды и летучие органические углеводороды, оксид азота (NO<sub>2</sub>).

Исследования последних лет подтвердили взаимосвязь между длительным воздействием загрязнённого воздуха и риском возникновения заболеваний сердца: при увеличении концентраций твёрдых частиц в воздухе

выявлен рост на 6 % общей смертности и на 11 % смертности от сердечно-сосудистых заболеваний [7]. Многие учёные в своих трудах доказывают зависимость между загрязнением окружающей среды чёрным углеродом и другими веществами, связанными с транспортом, и повышением артериального давления у населения [8].

Кроме того, представляет опасность избыточное шумовое давление, которое сопровождает транспортное и промышленное загрязнение воздуха взвешенными частицами. На данный момент накоплено значительное количество эпидемиологических исследований, изучающих влияние шума от дорожных магистралей и производственных зданий на состояние сердечно-сосудистой системы человека. Проведены разнообразные эксперименты по количественной и качественной оценке загрязнителей, которая позволяет сделать главное заключение: постоянный шум, исходящий от автомобильного, железнодорожного, авиационного транспорта или промышленных предприятий, отрицательно воздействует на организм человека, вызывая повышенное артериальное давление и развитие артериальной гипертензии [9].

Вместе с тем не стоит забывать об индивидуальных факторах экологического потенциального риска, связанных, например, со средой обитания отдельного человека или с его психоэмоциональным состоянием. Каждая из причин может оказывать негативное влияние на сердечно-сосудистую систему как самостоятельно, так и в сочетании с другими.

Повышение грамотности общества в области неблагоприятных последствий на организм человека шумового воздействия и загрязнения воздуха и признание их стандартными факторами риска поможет в разработке эффективных решений, направленных на снижение уровня шума и загрязнения атмосферного воздуха, а также на уменьшение их отрицательного влияния на состояние здоровья людей.

Таким образом, в настоящее время актуальна задача создания технологии вынесения земной индустрии в ближний космос с целью улучшения условий жизни мирового населения, большая часть которого сосредоточена в городах.

### Фотостарение

Фотостарение, или преждевременное старение кожи, возникает вследствие воздействия на организм человека ультрафиолетового излучения (УФ-излучение), главным источником которого на планете Земля является солнечный свет (УФ-лучи). УФ-лучи представляют собой невидимое глазом электромагнитное излучение, занимающее спектральную область между видимым (380–780 нм) и рентгеновским (10<sup>-2</sup>–10<sup>2</sup> нм) излучением. Длина волны УФ-лучей составляет 100–400 нм; они действуют на клетки организма

Таблица 1 – Состав атмосферного воздуха

Газ	Содержание в сухом воздухе, %
Азот (N <sub>2</sub> )	78,08
Кислород (O <sub>2</sub> )	20,95
Аргон (Ar)	0,93
Углекислый газ (CO <sub>2</sub> )	0,03

человека в любую погоду и в разное время суток. В зависимости от длины волны и действия на кожу человека выделяют три типа УФ-излучения:

- УФ-А (320–400 нм) – лучи вызывают снижение иммунного потенциала клеток кожи человека; происходит начало пигментации;
- УФ-В (290–320 нм) – лучи становятся причиной критичного снижения иммунного потенциала клеток кожи человека, вызывают защитную реакцию кожи человека в виде загара, морщин, провоцируют развитие заболеваний кожи (рак);
- УФ-С (200–290 нм) – лучи, обладающие самым сильным потенциалом действия на ткани человека; в значительном количестве поглощаются озоновым слоем земной атмосферы [10].

Фотостарение и его последствия могут возникать в любом возрасте, степень проявления коррелирует с общей дозой УФ-излучения, полученной за весь период жизни.

С современной точки зрения человек стареет в результате накопления повреждений в клетках. Скорость аккумуляции изменений обусловлена прежде всего затратами на восстановление и поддержку клеточных структур [11].

### Современные взгляды на средства профилактики ускоренного старения

Сохранение молодости и продление фазы активного долголетия – одна из приоритетных задач в современном мире. Однако не существует универсального метода, способного одновременно её разрешить. Таким образом, важно найти и изучить средства, с помощью которых можно защитить клетки и организм человека от влияния вредных факторов внешней среды и продлить активное долголетие.

#### Геропротекторы

На данный момент известно более 100 наименований геропротекторов, которые, возможно, способны увеличивать продолжительность жизни. Данные средства оказывают стимулирующее действие на организм и нормализуют нарушенные функции систем и органов, а также обмен веществ. К геропротекторам относятся фармакологические препараты различных групп, с помощью которых можно корректировать процессы, происходящие при возрастных изменениях, усилить регуляторные механизмы, отвечающие за физиологический тип старения [12]: ненасыщенные жирные кислоты, гормоны, витамины,

биостимуляторы, стволовые клетки. Наиболее эффективными, распространёнными и доступными геропротекторами являются антиоксиданты.

#### Антиоксиданты

Антиоксиданты – вещества, защищающие молекулы клеток от повреждения свободными радикалами кислорода и азота. В организме человека функционирует собственная система антиоксидантов, которая состоит из ферментов. При различных заболеваниях, а также из-за неблагоприятных факторов внешней и внутренней среды естественная антиоксидантная система слабеет, организм становится более подвержен воздействию оксидативного стресса [13].

Существует два способа влияния антиоксиданта на клетки человека. В первом механизме вещество вступает во взаимодействие со свободным радикалом кислорода (азота) и отдаёт ему недостающий электрон (рисунок 1). Результат реакции – АФК (АФА) становится нейтральной: она не стремится вступить в реакцию с молекулами и не представляет опасности для здоровых клеток человека.

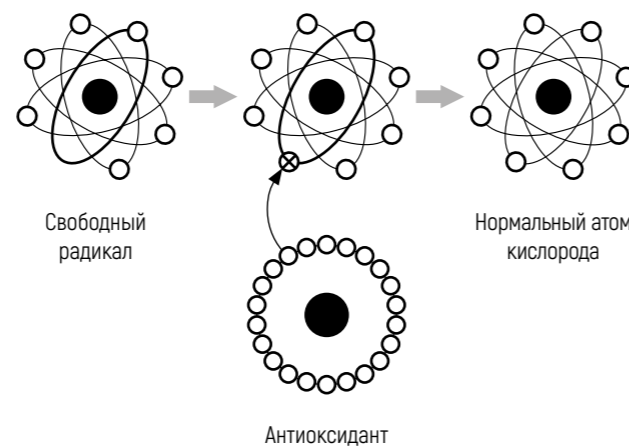


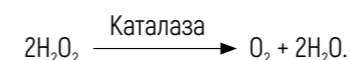
Рисунок 1 – Механизм действия антиоксиданта на свободный радикал

Второй механизм – антиоксиданты вступают в реакции в качестве биологических катализаторов (к ним относятся вырабатываемые в организме антиокислительные ферменты), ускоряют реакции нейтрализации свободных радикалов, превращая их в безвредные соединения [13]. Ферментами-антиоксидантами считаются вещества, характеризующиеся высокой специфичностью: супероксиддисмутаза (СОД), каталаза, глутатионпероксидаза, глутатион-S-трансфераза, пероксиредоксины.

СОД – металлофермент, выполняющий функцию биологического катализатора; удаляет агрессивный супероксидный анион-радикал и образует при этом устойчивый пероксид водорода. Механизм действия СОД следующий:



Каталаза – фермент, присутствующий во всех клетках организма человека и обладающий высокой активностью. В эритроцитах находится в цитозоле и защищает гемоглобин от окисления. Является катализатором реакции разложения пероксида водорода на воду и молекулярный кислород. Механизм действия данного фермента следующий:



При всём биоразнообразии антиоксидантов и механизмов их действия все выполняемые ими функции в организме человека сводятся к блокированию реакций окисления, которые лежат в основе процесса старения и развития большинства заболеваний.

Испытания на модельных организмах подтвердили, что применение антиоксидантов способствует укреплению здоровья и может увеличивать среднюю продолжительность жизни. Следовательно, указанные вещества в действительности помогают сохранять активное долголетие, снижают риск развития онкологических заболеваний, инфаркта, дегенеративных процессов в нервной системе, сахарного диабета и др.

#### Органическая продукция

В последнее время в мире становится всё более актуальной идея экологического образа жизни. Производство органических продуктов – положительный фактор развития субъектов агропродовольствия и улучшения экологической ситуации. Главной целью получения таких продуктов выступает экологическая безопасность всех компонентов: сельскохозяйственного сырья, технологий, оборудования, окружающей среды. На сегодняшний день натуральная продукция – гарант безопасности и здоровья населения. В соответствии с международными требованиями при производстве органической сельхозпродукции полностью контролируется жизненный цикл продукта от поля до прилавка магазина. Запрещается использовать всё, что может навредить здоровью человека, – химические удобрения

и средства защиты растений, ГМО, антибиотики, гормоны роста, пищевые добавки [14]. Наиболее востребованными направлениями в получении натуральной продукции являются фермерские продукты питания и органическая косметика.

### Роль ЭкоКосмоДома в предупреждении преждевременного старения

Современный человек освоил практически всё земное пространство: от полярных льдов до жарких тропических пустынь, от лесов Сибири до джунглей. Овладевая земными просторами, вовлекая в хозяйственный оборот природные ресурсы, возводя жилые, производственные здания и сети дорог, он изменил природную среду, во многих случаях придал ей свойства, неблагоприятные и даже враждебные для самого себя.

С целью сохранения природной экосистемы, видового разнообразия планеты Земля и возможного продления активного долголетия разрабатывается технологическая платформа «ЭкоКосмоДом» – сооружение в космосе с обитаемым пространством, которое изолировано от внешней агрессивной космической среды. Внутри ЭКД планируется создание замкнутой экосистемы земного типа, включающей искусственно полученную гравитацию, живую плодородную почву, флору и фауну, а также атмосферу с регулируемыми параметрами (температура, влажность и др.) для неограниченно длительного, автономного, экокомфортного проживания и деятельности как отдельных людей и их групп, так и многотысячных поселений на экваториальных орбитах планеты Земля [15].

#### Создание оптимальных условий для автономного проживания людей

Особенность места проживания человека состоит в многообразном переплетении социальных и природных аспектов. Попадая в непривычно новые внешние природные условия, человек нередко испытывает влияние малоизвестных, но при этом иногда жёстких факторов среды, к которым эволюционно он не приспособлен.

Одним из наиболее действенных методов предупреждения раннего старения людей в масштабах ЭКД является формирование оптимальных условий для неограниченно длительного проживания. Для решения данной задачи в ЭКД будет создана искусственная атмосфера – специально подобранная смесь газов, которая обеспечивает нормальное дыхание и газообмен у живых организмов, включая человека, находящихся в условиях

замкнутой экосистемы [15]. По качеству искусственная атмосфера не уступает земной. Параметры комфортно-го проживания человека определены достаточно точно и имеют значения [16], представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры комфортных для проживания человека условий

Показатель	Оптимальные величины
Температура воздуха, °С	22–26
Относительная влажность воздуха, %	30–60
Газовый состав вдыхаемого воздуха, %:	
• азот (N <sub>2</sub> )	78,08–78,12
• кислород (O <sub>2</sub> )	20,95*
• аргон (Ar)	0,934–0,935
• углекислый газ (CO <sub>2</sub> )	0,03–0,032
Атмосферное давление, мм рт. ст.	760
Радиационный фон, мкР/ч	До 8–12

\* Существует возможность повышения показателя до 23 с целью профилактики заболеваний дыхательных путей.

#### Использование природных антиоксидантов

Вредное воздействие свободных радикалов можно существенно снизить систематическим употреблением продуктов, обладающих высокой природной антиоксидантной активностью. Рассмотрим в качестве таковых лекарственные травы, широко используемые в традиционной и народной медицине.

В соответствии с концепцией инженера А.Э. Юницкого [15] в ЭКД будет задействован необходимый набор инструментов, обеспечивающих развитие растений, включая плодородный слой почвы и ассоциации агрономически ценных почвенных микроорганизмов. Таким образом, можно предположить, что природная среда и почвенно-климатические условия замкнутой экосистемы земного типа окажутся самыми благоприятными для произрастания и сбора лекарственного сырья. Отдельно стоит отметить, что особенностью выращенных в ЭКД лекарственных трав будет считаться их высокое качество вследствие отсутствия загрязняющих атмосферу веществ, а также внесения органических подкормок.

В медицине для борьбы с заболеваниями, вызываемыми раннее старение, применяются различные препараты, в том числе те, которые произведены на основе веществ,

выделенных из растений. При выборе лекарственного сырья в качестве добавки в пищу необходимо руководствоваться следующими принципами: высокое антиоксидантное действие, фармакологические свойства, доступность, содержание эфирных масел (данный параметр даёт возможность использовать сырьё в производстве натуральной косметической продукции).

**Мята перечная** (*Mentha piperita* L.) – многолетнее культивируемое растение, ценное сырьё (рисунок 2). Надземные части мяты богаты эфирным маслом, в соцветиях его концентрация достигает 6 %. Основным компонентом эфирного масла является ментол, который входит в состав лекарственных средств, применяющихся при заболевании верхних дыхательных путей. Кроме того, полезные свойства мяты обусловлены содержащимся в ней флавоноидом – гесперидином, обладающим Р-витаминной активностью, а также макро- и микроэлементами (медь, марганец, калий, кальций, натрий, магний, фосфор, железо) [17].

Благодаря успокаивающим, антисептическим и болеутоляющим свойствам экстракты из мяты широко используются при производстве натуральных лекарственных средств. В листьях растения содержится каротин (до 40 мг), который ограждает клетки и защищает организм человека от попадания вирусов и, как следствие, препятствует возникновению воспалений.

В виде масляного раствора мята перечная применяется в косметологии (мазь, лосьон, крем).



Рисунок 2 – Мята перечная

**Шалфей лекарственный** (*Salvia officinalis* L.) – многолетнее культивируемое растение (рисунок 3). Химический состав листьев обусловлен наличием как органических кислот (олеаноловая, урсоловая, хлорогеновая), так и витаминов Р и РР, группы В, фитонцидов, дубильных соединений,

обеспечивающих антимикробные и противовоспалительные свойства. В корнях растения содержится флавоноид – высокоактивный антиоксидант кверцетин, который борется со свободными радикалами в организме человека.

Шалфей относится к группе эфирномасличных растений, у которых в надземной части количество эфирного масла достигает 2,5 %. Кроме того, горьковатые на вкус листья растения повышают секреторную активность желудочно-кишечного тракта, тем самым способствуя улучшению пищеварения [18].

Применяется шалфей лекарственный в виде настоев, чаёв и отваров.



Рисунок 3 – Шалфей лекарственный

**Зверобой продырявленный** (*Hypericum perforatum* L.) – многолетнее травянистое растение (рисунок 4). Главными действующими соединениями являются красные красящие вещества, количество которых достигает 0,5 %. Зверобой – источник витаминов С и РР, каротина (до 55 мг), фитонцидов, макроэлементов (калий, кальций, магний, железо), микроэлементов (марганец, медь, цинк, кобальт), ультрамикроэлементов (селен, германий). Наряду с этим в растении содержатся дубильные вещества (до 10 %), эфирное масло (до 0,5 %) и гиперфорин, который может повышать уровень серотонина и дофамина, отвечающих за настроение человека.

Препараты на основе зверобоя продырявленного оказывают кровоостанавливающее и противовоспалительное действие, стимулируют восстановление элементов клеток и тканей человека, положительно влияют на состояние центральной нервной системы, повышают аппетит и работоспособность, могут быть использованы как натуральные антидепрессанты [19].

Популярен зверобой продырявленный и в качестве заварки для чая.



Рисунок 4 – Зверобой продырявленный

**Расторопша пятнистая** (*Silybum marianum* (L.) Gaertn) – однолетнее (в условиях культивирования) или двулетнее (в природе) растение (рисунок 5). Плоды расторопши содержат уникальную группу биологически активных соединений – флаволигнаны, способные связывать свободные радикалы азота и кислорода. К флаволигнанам относятся силибин, дигидросилибин, силикристин, силидианин и эриодиктиол. Важной группой биологически активных веществ является жирное масло, концентрация которого в плодах растения достигает 32 %. Кроме того, расторопша пятнистая – богатый источник эфирного масла, алкалоидов, органических кислот, витаминов Е, К, D, группы В, макро- и микроэлементов, белковых соединений.

Расторопшу пятнистую благодаря её полезным свойствам употребляют для лечения острого и хронического гепатита, цирроза, а также при отравлениях токсичными химическими веществами, хронических заболеваниях желудка и кишечника. Отвар или настой из корней расторопши используют при гастрите и судорогах. Порошок, полученный из измельчённых семян, снижает уровень сахара в крови, способствует её очищению [20].



Рисунок 5 – Расторопша пятнистая

## Здоровое питание

Пища необходима для поддержания жизнедеятельности и обеспечения нормального функционирования организма. Рацион человека – один из основополагающих факторов, влияющих на здоровье, работоспособность и продолжительность активной жизни. Отмечено, что значительная часть болезней связана с ухудшением экологической обстановки в среде обитания и, как следствие, с употреблением недоброкачественных продуктов питания.

На технологической платформе ЭКД ввиду отсутствия загрязнений в атмосферном воздухе и наличия достаточного объёма кислорода и плодородной почвы, населённой агрономически ценными ассоциациями микроорганизмов, не возникнет проблема получения питательных веществ растительного происхождения [15]. Для сохранения баланса в искусственной экосистеме биосферного типа специалисты подберут трофические цепи животных, предназначенных для заселения. Корм животных будет состоять из исключительно экологически чистых компонентов. Значит, полученный на выходе фермерский продукт будет гарантированно натуральным, т. е. отличаться высоким количеством полезных веществ, отсутствием консервантов, ГМО.

Главное преимущество органической продукции по сравнению с обычной – способность положительно влиять на здоровье населения. В первую очередь потому, что органические фрукты и овощи имеют повышенное содержание природных антиоксидантов. Мясо животных и птиц, произведённое органическим сельским хозяйством, менее жирное, в нём больше ненасыщенных жирных кислот, что снижает риск развития сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний, диабета и препятствует накоплению избыточной массы тела [21].

Вышепредставленные факторы, благоприятно воздействующие на организм человека и способствующие предупреждению раннего старения в ЭКД, обобщены в виде блок-схемы (рисунок 6).

## Заключение

Важнейшей задачей нашей земной техногенной цивилизации является сохранение ресурсов планеты и повышение качества жизни и здоровья мирового населения. Вопрос предупреждения ускоренного старения требует изменения модели человеческой деятельности, переориентации многих отраслей на экологически чистое производство, что подразумевает крупномасштабную работу широкого круга специалистов и организацию соответствующих мероприятий.

Представленные в статье теоретические данные позволяют лучше понять роль природных антиоксидантов в борьбе с преждевременным старением, преобразованием биомолекул АФК и АФА, а также в профилактике различных патологий, сопровождающихся оксидативным стрессом.

Кроме того, в замкнутой экосистеме земного типа требуется использование средств для поддержания автономности. Лекарственные травы как источник веществ медицинского назначения – перспективное направление, в рамках которого получают настои, ароматизаторы и натуральные эфирные масла, способствующие предотвращению возрастных изменений.

Таким образом, в настоящей статье всесторонне обосновано одно из важных направлений, обозначенных при разработке ЭКД, – улучшение здоровья населения путём снижения чрезмерно опасных выбросов в атмосферу



Рисунок 6 – Блок-схема роли ЭКД в предупреждении преждевременного старения

и транспортного шума, создание экокомфортных условий проживания для групп людей в долгосрочной перспективе, а значит, решение проблемы преждевременного старения человеческого организма.

## Литература

1. Характеристика феномена долголетия. Взгляд на проблему / М.С. Пристром [и др.] // Медицинские новости. – 2016. – № 1. – С. 48–51.
2. Гарифзянов, А.Р. Образования и физиологические реакции активных форм кислорода в клетках растений / А.Р. Гарифзянов, Н.Н. Жуков, В.В. Иванищев // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 2. – С. 26–32.
3. Mimić-Oka, J. Free Radicals in Cardiovascular Disease / J. Mimić-Oka, D.V. Simić, T.P. Simić // Facta Universitatis. Series: Medicine and Biology. – 1999. – Vol. 6, No. 1. – P. 11–22.
4. Возможная роль генов, связанных с лизосомными болезнями накопления, в патогенезе болезни Паркинсона / М.М. Руденко [и др.] // Молекулярная биология. – 2019. – Т. 53, № 1. – С. 28–36.
5. Влияние транспортного шума и загрязнения воздуха на метаболическую и сердечно-сосудистую заболеваемость и смертность / А.В. Пыко [и др.] // Неотложная кардиология и кардиоваскулярные риски. – 2018. – Т. 2, № 1. – С. 270–279.
6. Исследование состава воздуха в различных воздушных массах / О.Ю. Антохина [и др.] // Оптика атмосферы и океана. – 2018. – Т. 31, № 9. – С. 752–759.
7. Long Term Exposure to Ambient Air Pollution and Incidence of Acute Coronary Events: Prospective Cohort Study and Meta-Analysis in 11 European Cohorts from the ESCAPE Project / G. Cesaroni [et al.] // British Medical Journal. – 2014. – No. 348. – P. 1–16.
8. Black Carbon Exposure, Oxidative Stress Genes, and Blood Pressure in a Repeated-Measures Study / I. Mordukhovich [et al.] // Environmental Health Perspectives. – 2009. – Vol. 117, No. 11. – P. 1767–1772.
9. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Cardiovascular and Metabolic Effects: A Summary / E. van Kempen [et al.] // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2018. – Vol. 15, No. 2. – P. 379.
10. Горячкина, М.В. Кожа и солнце: клинические проявления и современная профилактика фотодерматозов /

М.В. Горячкина, Т.А. Белоусова // Дерматология. Приложение к журналу Consilium Medicum. – 2015. – № 2. – С. 12–17.

11. Мушкамбаров, Н.Н. Старение: природа и механизмы / Н.Н. Мушкамбаров // Пространство и Время. – 2012. – № 1 (7). – С. 182–194.
12. Клиническая фармакология: учеб. / под ред. В.Г. Кукуца. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2006. – 944 с.: ил.
13. Действие антиоксидантов на образование свободных радикалов – первичных продуктов пероксидазной реакции / Д.Ю. Измайлов [и др.] // Биофизика. – 2017. – Т. 62, № 4. – С. 686–694.
14. Никифорова, Т.А. Органическая продукция и пищевые добавки для её производства / Т.А. Никифорова, Т.Н. Губасова // Пищевая промышленность. – 2012. – № 6. – С. 52–54.
15. Юницкий, А.Э. Локализация объектов промышленного назначения на круговой экваториальной околоземной орбите / А.Э. Юницкий, А.В. Кушниренко, Е.Н. Кулик // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьяна Горка, 12 сент. 2020 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – С. 230–245.
16. Адаптация человека к природным условиям и оценка комфортности проживания населения / Б.И. Кочуров [и др.] // Проблемы региональной экологии. – 2010. – № 2. – С. 41–48.
17. Ушкалова, А.В. Эффективность и безопасность антидепрессивных и седативных средств растительного происхождения / А.В. Ушкалова, Т.С. Илларионова // Фарматека. – 2007. – № 20 (154). – С. 10–14.
18. Пастушкова, Е.В. Анализ растительного технического сырья с высокой антиоксидантной активностью, произрастающего на территории Свердловской области / Е.В. Пастушкова // Научное обозрение. Технические науки. – 2016. – № 3. – С. 78–86.
19. Растения для нас: справ. изд. / К.Ф. Блинова [и др.]; под ред. Г.П. Яковлева, К.Ф. Блиновой. – СПб.: Учеб. кн., 1996. – 652 с.: ил.
20. Расторопша пятнистая / В.А. Куркин [и др.]. – Самара: Офорт, 2010. – 118 с.
21. К вопросу о целесообразности производства пищевых органических продуктов / М.А. Прищепов [и др.] // Агропанорама. – 2014. – № 6. – С. 31–35.

# Аптечная косметика для жителей ЭкоКосмоДома: мировые тренды, инновационные компоненты, особенности производства

Шемет Д.О.

Зыль Н.С.

Корней В.В.

ЗАО «Струнные технологии»,  
г. Минск, Беларусь



Изучен вопрос целесообразности производства натуральной косметической продукции в ЭкоКосмоДоме (ЭКД). Рассмотрены распространённые заболевания волос, а также представленные на рынке решения данной проблемы. Проведён обзор инновационных косметических компонентов. Предложены конкретные рецептуры для изготовления натуральной уходовой косметики и минимально необходимый набор косметических средств для жителей ЭКД.

*Ключевые слова:* аптечная косметика, инновационные косметические компоненты, косметика с натуральными компонентами, косметическая продукция, производство косметической продукции, ЭкоКосмоДом (ЭКД).

УДК 665.58



## Введение

Во всём мире индустрия косметики и товаров для красоты – один из секторов, который остаётся невосприимчивым к взлётам и падениям экономики. Общий объём продаж может уменьшаться в случае экономического спада, однако благодаря тому, что на эту продукцию отмечается непрерывный спрос не только у женщин, но и у мужчин, рассматриваемое производство из года в год показывает стабильный рост.

Согласно отчёту «Рынок косметики по категориям, полу и каналам сбыта: анализ возможностей и отраслевой прогноз, 2021–2027 гг.», опубликованному Allied Market Research, объём мирового рынка в данном сегменте в 2019 г. оценивался в 380,2 млрд USD. По прогнозам компании, к 2027 г. он достигнет 463,5 млрд USD, а среднегодовой темп роста составит 5,3 % с 2021 по 2027 г. [1].

Среди различных производителей наблюдается тенденция к использованию природных ингредиентов, что удовлетворяет постоянно растущий спрос на натуральные и экологичные косметические продукты.

Потребность человека в косметике увеличивалась параллельно с расширением знаний о лекарственных растениях, развитием химии, разработкой методов выделения и очистки различных веществ, появлением нового лабораторного оборудования. Это привело к возникновению и становлению косметической химии – науки о строении и свойствах веществ, применяемых в косметических целях, технологиях изготовления косметических средств и их влиянии на кожу, волосы, ногти человека. Она базируется на достижениях физики, химии природных и синтетических соединений, а также биологии и биохимии, фармацевтики, медицины и некоторых других наук [2].

Необходимо отметить быстрые темпы формирования косметической отрасли в два последних десятилетия. Связано это с тем, что в обществе сложилось следующее мнение: успешный человек – добившийся не только высоких профессиональных результатов, высокого социального статуса, но и всесторонне (в том числе внешне) развитый, ухоженный. Популярность косметической продукции не в последнюю очередь обусловлена ежемесячно выходящими новинками, которые позволяют потребителю подобрать средство исключительно для своего типа кожи, волос. Высокая производительность неразрывно коррелирует со значительными индустриальными выбросами, отходами. Единственная возможность минимизировать их на нашей планете заключается в перемещении всех промышленных мощностей за пределы Земли, что может быть реализовано

на базе космического индустриального ожерелья «Орбита» (КИО «Орбита») в соответствии с концепцией инженера А.Э. Юницкого [3]. Кроме того, перенос производства позволит обеспечить жителей данного комплекса натуральной аптечной косметической продукцией.

Таким образом, становится актуальным анализ современных тенденций в косметической отрасли, возможностей получения натуральных растительных компонентов в замкнутых экосистемах и разработка рецептур, наиболее перспективных для использования жителями ЭкоКосмоДома (ЭКД).

## Классификация видов косметики

Под косметическим средством понимается любое вещество или препарат, предназначенные для нанесения на внешние покровы человека (кожа, волосы, ногти и др.) или на зубы и слизистую оболочку полости рта. Косметические средства используют с целью очищения, придания приятного запаха, исправления естественного запаха, изменения внешнего вида, защиты и поддержания в хорошем состоянии кожного покрова [4].

Ежегодно на мировом рынке производится большое количество разнообразной косметической продукции, весь ассортимент которой принято делить на две группы:

- 1) уходовая косметика;
- 2) декоративная косметика.

Первая группа предназначена для ухода, способствует устранению различных дерматологических проблем, а также поддержанию молодости и красоты. На сегодняшний день налажено производство такой косметики для тела, лица, волос, ногтей; выпускается в сериях для женщин, мужчин, детей.

Вторая группа предназначена для коррекции внешности, включает тональные средства, тушь, помады, тени, карандаши, румяна, лаки для ногтей и др.

Отдельно стоит отметить появившееся сравнительно недавно направление – космецевтику (термин возник благодаря слиянию слов «косметика» и «фармацевтика») [5]. Устоявшегося определения космецевтической продукции не существует, но обывателями она воспринимается как сочетание косметики с лекарственными препаратами, т. е. лечебная косметика. В связи с этим очень часто потребители используют названия «аптечная косметика», «лечебная косметика», «космецевтика», подразумевая одно и то же.

## Обзор тенденций косметического рынка

В ходе анализа рынка косметики отмечено, что большим спросом пользуется продукция с высоким содержанием натуральных компонентов [6]. Среди популярных тенденций в косметической промышленности также необходимо выделить:

- повышенные требования к качеству составов вследствие роста уровня образованности людей в данном вопросе;
- особый интерес к средствам для умывания и увлажнения кожи в связи с рекомендованным при COVID-19 частым мытьём рук, лица и тела;
- кастомизация и DIY-подходы (do-it-yourself) вследствие закрытия косметических салонов после начала пандемии и увеличения времени, проводимого дома;
- запрос на эффективный домашний уход, не уступающий профессиональным процедурам, для экономии личного времени;
- рост осведомлённости потребителей о том, что проблемы с кожей могут быть связаны с нарушенным микробиомом, что в свою очередь приводит к увеличению предложений косметических продуктов по данному профилю;
- серьёзное отношение к здоровью и соблюдение принципа устойчивого развития увеличили спрос на продукты концепта Clean Beauty, вследствие чего всё больше внимания обращается на штампы «натуральный», «эко», «без жестокого обращения с животными»;
- стремление производителей угодить желаниям потребителей побуждает косметические компании получать разнообразные сертификаты качества своей продукции: Ecocert, ICEA, BDIH, COSMOS, Cosmebio, Vegan.

## Аптечные средства, применяемые для лечения распространённых заболеваний волос

### Алопеция

По статистической информации, ежегодно число людей, обращающихся к дерматологам с проблемой выпадения волос, постоянно растёт и составляет около 8–10 % от количества страдающих кожными заболеваниями [7]. Ежедневная потеря волос (до 100 шт.), равномерная по всей поверхности волосистой части головы, является нормальным физиологическим процессом. Однако под влиянием различных внешних и внутренних причин синхронность волосных циклов нарушается и возникает избыточное выпадение волос (до 1000 в день), что и приводит к алопеции [8].

В развитии заболевания играют роль многие факторы: аутоиммунные, эндокринные, перенесённые острые инфекции, очаги хронической инфекции, нарушения периферической сосудистой системы и церебральных сосудов, функциональные нарушения нервной системы, дисбаланс микроэлементов, изменения реологических свойств крови [9]. До 25 % пациентов имеют алопецию в личном или семейном анамнезе [10].

В данной ситуации одним из эффективных способов лечения будут препараты, содержащие натуральные компоненты. Среди наиболее популярных – «Селенцин» (ООО «Алкой-Фарм»), «Аминексил®» и SP94™ (Laboratoires Vichy) и др.

Механизм действия «Селенцина» можно представить в виде двух этапов:

1) ингибирование активности 5- $\alpha$ -редуктазы, приводящее к понижению преобразования тестостерона в дегидротестостерон, превышение уровня которого нарушает работу волосного фолликула;

2) стимуляция роста волос за счёт улучшения микроциркуляции в области волосного фолликула.

Косметическая линейка «Селенцина» включает в себя шампунь, бальзам и лосьон-спрей (для ежедневного применения), маску для волос и таблетки (для курсового применения в течение двух месяцев).

Механизм действия «Аминексила®» состоит в том, что данный комплекс препятствует фиброзу (накопление избытка коллагена вокруг волосного фолликула), приводящему к уплотнению корня волоса и разрастанию соединительной ткани. Коллаген «пережимает» капилляры, в результате чего формирование волоса в луковице прекращается, и даже если он всё же прорастёт, то будет ослабленным и вскоре выпадет.

Принято думать, что проблемы с коллагеновыми оболочками фолликулов волос особенно типичны для мужчин, поскольку избыток коллагена зачастую образуется под воздействием тестостерона. По этой причине уходовые комплексы для предотвращения алопеции изначально создавались для представителей мужского пола. Позже выяснилось, что у женщин под влиянием даже лёгких гормональных сбоев тестостерон может запустить аналогичный процесс, вызывая ослабление волосных луковиц и истончение волосного стержня.

Помимо сугубо генетических факторов, провоцирующих риск возникновения алопеции, имеется также ряд внешних:

- чрезмерное использование стайлинговых косметических средств;

- сушка волос горячим воздухом;
- вредные привычки;
- эмоциональные стрессы;
- кожные заболевания;
- неправильное питание;
- нарушение режима дня;
- дефицит железа в организме.

### Поседение волос

В современном мире эстетика внешности человека имеет большое значение, поэтому изучение механизма пигментации волос приобретает особую важность. Эксперты в области косметики ищут способы, препятствующие поседению или восстанавливающие пигментацию растущих седых волос в фолликулах. В настоящее время установлено, что главный меланогенный фактор –  $\alpha$ -меланоцитстимулирующий гормон ( $\alpha$ -МСГ), который относится к семейству меланокортинов. Наиболее интересная находка последних десятилетий – обнаружение биосинтеза меланокортинов и их рецепции непосредственно в волосных фолликулах, причём основным меланогенным посредником является рецептор меланокортинов типа 1 (melanocortin 1 receptor – MC1R), локализованный в меланоцитах – специализированных клетках кожи, продуцирующих пигмент меланин [11].

Меланогенез (выработка пигмента) связан с циклами роста и ремоделирования волос. Учитывая, что каждый из таких циклов у человека занимает 3,5 года, за первые 35 лет жизни проходит всего лишь 10 циклов с достаточно полноценным восстановлением пигментного комплекса. Далее наступает постепенное снижение меланогенеза, которое сопровождается как уменьшением числа меланоцитов, так и нарушениями переноса меланосом, т. е. органелл, заполненных пигментом, из меланоцитов в кератиноциты растущих волос [12]. Именно эти процессы и вызывают поседение волос.

Многочисленные сведения говорят о том, что с возрастом наблюдается истощение пролиферативного потенциала стволовых клеток кожи и клеток – предшественников меланоцитов [13]. Однако некоторые авторы утверждают, что также имеют место нарушения гормональной регуляции меланогенеза.

Кроме того, значительный прорыв произошёл в последние годы в выяснении существенной роли окислительного стресса в поседении волос. Предполагается, что сам по себе процесс формирования пигмента путём превращения тирозина в дигидроксифенилаланин и затем в меланин сопровождается генерацией большого количества

свободных радикалов кислорода. Например, в фолликулах седых волос зарегистрированы миллимолярные концентрации перекиси водорода ( $H_2O_2$ ), что вполне достаточно для повреждения макромолекул, в том числе каталазы и метионин-сульфоксид-редуктазы, и снижения таким образом антиоксидантной защиты [14].

В то же время как гормональные механизмы, так и окислительный стресс не способны объяснить гетерогенность поседения волос на разных частях тела человека. Кроме того, остаётся нерешённым вопрос, каким образом соотносятся между собой поседение волос и старение всего организма.

Ответ следует искать в возможных корреляциях между структурными изменениями волос и болезнями, зависящими от возраста. Некоторые исследования продемонстрировали, что преждевременное поседение может быть взаимосвязано с показателями кардиометаболических расстройств, а также с психоэмоциональным стрессом [15, 16].

Несмотря на значительные успехи в изучении локальных механизмов поседения волос, исследования в данной области находятся пока ещё на начальных этапах и системные механизмы остаются неясными. На наш взгляд, важно обратить внимание на возможное подавление меланогенеза глюкокортикоидами при их локальном или системном применении, а также при увеличении их уровня в крови под действием стресса и при старении. Механизм такого подавления уже достаточно известен – это снижение выработки меланокортинов с меланогенным потенциалом [11].

Предполагается, что гормоны с антистрессорным действием, и прежде всего мелатонин [17], могут оказаться весьма полезными для локального или системного противодействия окислительному стрессу и антипролиферативному влиянию глюкокортикоидов.

### Обзор инновационных компонентов в косметике аптечного сегмента

Рассмотрим инновационные компоненты, зарекомендовавшие себя на косметическом рынке.

#### Procapil™

Procapil™ – высокоэффективный комплекс для борьбы с основными причинами алопеции:

- низким уровнем микроциркуляции крови в коже головы. Апигенин, который входит в состав комплекса, флавоноид и естественный антиоксидант, улучшает микроциркуляцию;

- атрофией фолликулов, вызванной влиянием дигидротестостерона (ДГТ) и старением фолликулов. Повышенное содержание ДГТ воздействует на волосную фолликул и вызывает облысение. ДГТ, в свою очередь, образуется при воздействии 5- $\alpha$ -редуктазы. Олеаноловая кислота, находящаяся в составе препарата, является мощным ингибитором фермента 5- $\alpha$ -редуктазы, а Biotinoyl Tripeptide-1 стимулирует клеточный метаболизм, прочно фиксирует волосную фолликул.

#### SymReboot™ L19

SymReboot™ L19 – уникальный комплекс из постбиотика (*Lactobacillus ferment*) и пребиотика (Maltodextrin). Препарат представляет собой обработанные бактерии с неповреждёнными клеточными стенками, имитирующие действие пробиотиков для восстановления инстинктивных защитных механизмов кожи. Основные функции SymReboot™ L19:

- повышение экспрессии антимикробных пептидов;
- повышение экспрессии филагрина для усиления защитного барьера кожи;
- снижение покраснения, вызываемого факторами стресса, включая золотистый стафилококк.

Реальные и видимые улучшения кожи при применении SymReboot™ L19:

- снижение сухости, улучшение внешнего вида;
- усиление защиты от агрессивных внешних воздействий, например от загрязнения воздуха.

Комплекс одобрен ведущими европейскими сертифицирующими организациями, среди которых COSMOS, Vegan.

#### SymVital® MADA

SymVital® MADA – экстракт имбиря, полученный в экологически чистой зоне Мадагаскара методом сверхкритической  $CO_2$ -экстракции. Главная функция данного продукта – уменьшить отрицательное влияние синего света на кожу человека.

Разработка новых принципов фотозащиты является актуальной задачей в современной дерматокосметологии. Имеется мнение, что основной причиной повреждения и старения кожи выступает УФ-спектр солнечного излучения. Однако в последнее время учёные обращают всё больше внимания на видимую часть спектра. Видимый свет, долгое время считавшийся безвредным и даже полезным,

может вызывать определённые негативные изменения в различных органах и тканях (сетчатка глаза, кожа).

В спектре видимого света различают семь цветов: красный, оранжевый, жёлтый, зелёный, голубой, синий и фиолетовый. Наиболее значимое воздействие на организм отводится синему – высокоэнергетическому видимому свету (high-energy visible light – HEV) с длиной волны 400–500 нм. Он способен оказывать как положительное, так и отрицательное влияние, поэтому представляется важнейшим синхронизатором циркадной системы. Наличие такого света в течение дня важно для подавления секреции мелатонина, играющего решающую роль в циркадных ритмах. Кроме того, специалисты отмечают ускорение заживления раневых поверхностей, уменьшение проявления акне и псориаза. В то же время синий свет может приводить к негативным последствиям, которые в настоящее время тщательно изучаются. На сегодняшний день известно, что он вызывает окислительный стресс, ослабляющий барьерные функции эпидермиса и изменяющий пигментацию кожи, связанную с воздействием на опсин-3-рецепторы.

По данным последних исследований, HEV-лучи провоцируют распад каротиноидов, которые считаются важными антиоксидантами, защищающими кожу от свободных радикалов. Снижается барьерная функция эпидермиса, а кожа становится более подверженной внешнему влиянию и возникновению первых признаков старения.

SymVital® MADA – сильный антиоксидант, который нейтрализует опасное воздействие свободных радикалов, защищая от фотостарения, выравнивает тон кожи, придаёт ей сияние, уменьшает негативные последствия опасных факторов окружающей среды.

Необходимо отметить, что все рассмотренные выше вещества, а также иные инновационные компоненты, такие как эфирные масла лечебных растений, постбиотики, экстракты грибов, можно получать и в условиях ЭКД, имея минимальный набор химической посуды и оборудования. Ряд инновационных косметических ингредиентов уже успешно синтезируют в лаборатории бюро биотехнологий ЗАО «Струнные технологии».

### Использование аптечной косметической продукции в ЭкоКосмоДоме

ЭКД – космическое сооружение с внутренним обитаемым пространством, изолированным от внешней



агрессивной космической среды. В ЭКД будет создана замкнутая экосистема земного типа, включающая искусственно полученную гравитацию, живую плодородную почву, флору и фауну (в том числе микрофлору и микрофауну), атмосферу с регулируемыми параметрами (температура, влажность и др.) для неограниченно длительного, автономного, экомфортного 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 [18].

В условиях ЭКД аптечная косметика должна не только выполнять декоративную или уходовую функцию, но и быть своеобразным лекарственным средством профилактического действия, которое предупреждает как негативные изменения внешнего вида человека ввиду естественных процессов, так и заболевания кожи и в некоторой степени других органов за счёт комплексного влияния.

Необходимо понимать, что при решении серьёзных проблем кожи и волос подобранная грамотным специалистом (врач-дерматовенеролог, врач-трихолог) косметика является важнейшим фактором на пути к их решению наряду со здоровым питанием, подразумевающим полный набор макро- и микронутриентов, достижение энергетического баланса, смещение баланса жиров в сторону ненасыщенных, которых должно быть не менее 90 % в рационе человека [19].

Один из самых важных компонентов для увлажнения кожи – гиалуроновая кислота. В оптимальном количестве она вырабатывается в возрасте до 25 лет. Затем синтез гиалуроновой кислоты замедляется, и после 40 лет из-за её нехватки организм не может в необходимом объёме синтезировать коллаген, процесс старения становится необратимым. Соответственно, если гиалуроновой кислоты в организме недостаточно, появляются первые признаки старения: сухость кожи, морщины, тусклый цвет лица.

Ультрафиолетовое излучение относится к отрицательным факторам, влияющим на выработку гиалуроновой кислоты. Под воздействием УФ-лучей её расщепление происходит быстрее, синтез в клетках прекращается, поэтому после длительного пребывания на солнце кожа становится сухой и обезвоженной, процессы старения ускоряются.

Грамотно подобранная косметика (гиалуроновые сыворотки, дневной и ночной кремы с УФ-фильтрами) позволяет нивелировать негативные последствия вышеприведённых факторов.

Отдельно стоит упомянуть о процессе умывания. Подбор правильного средства – важный вопрос, решение которого поможет поддерживать здоровье кожи в любом возрасте. Вся уходовая косметика должна быть выбрана потребителем в соответствии с его типом кожи (нормальная, сухая, жирная, комбинированная).

В косметической промышленности особой популярностью пользуется анионное поверхностно-активное вещество (ПАВ) Sodium Laureth Sulfate. Его распространённость обусловлена низкой стоимостью, высокой доступностью на рынке, хорошей пеномоющей способностью. Однако данное вещество подходит для жирного типа кожи. У человека, имеющего сухой либо комбинированный тип, средство для умывания, содержащее указанное ПАВ, после длительного применения вызовет трансэпидермальную потерю влаги (из-за разрушения липидного слоя эпидермиса), что приведёт к сухости, дряблости, шелушению, а также появлению мелких морщин. В то же время неиспользование косметики для умывания либо умывание кожи лица туалетным или хозяйственным мылом влечёт не менее (а чаще всего более) отрицательные последствия.

### Получение природного сырья в условиях ЭкоКосмоДома

Исходя из определения ЭКД, можно сделать вывод о том, что условия жизни в нём не будут разительно отличаться от земных, а поэтому правила и заключения, установленные в косметической практике, применимы в ЭКД.

Отдельно рассмотрим вопрос доставки косметических компонентов.

В ЭКД предполагается высадка лекарственных трав, плодово-ягодных растений, овощных культур, грибов, которые могут использоваться для получения экстрактов, гидролатов, эфирных масел. Таким образом, отсутствует необходимость доставки активных компонентов с Земли. Однако есть потребность в транспортировке структурообразующих ингредиентов (баз), которые затруднительно синтезировать на ранних этапах функционирования ЭКД.

Кроме того, в условиях замкнутых экосистем имеется возможность достичь высоких показателей качества получаемых природных компонентов ввиду применения исключительно естественных удобрений.

В силу изложенных выше фактов принято решение о целесообразности наличия у жителей ЭКД минимально необходимого перечня косметических средств (таблица 1).

Таблица 1 – Перечень косметических средств, необходимых для жителя ЭКД (расчёт для нужд одного человека в месяц)

Средство	Масса, г	Функциональное назначение	Активные компоненты
Гель для умывания лица	50	Очищение кожи	Эфирное масло ромашки, витамин B <sub>5</sub> , экстракт окопника
Крем с УФ-фильтрами для лица	20	Увлажнение кожи, защита от УФ-излучения	Постбиотик, пробиотик, экстракт Melissa, УФ-фильтры
Крем для рук	70	Увлажнение, питание кожи	Водорастворимое масло оливы, экстракт Melissa, эфирное масло мяты, экстракт зверобоя
Шампунь	250	Очищение волос и кожи от загрязнений, чрезмерного выделения себума	Водорастворимое масло арганы, экстракт Melissa, экстракт лопуха, пантенол
Гель для душа	300	Очищение кожи	Водорастворимое масло оливы, экстракт зверобоя, эфирное масло апельсина, постбиотик

### Производство аптечной косметики в ЭкоКосмоДоме

В ЭКД большую часть активных компонентов предполагается выращивать на местных сельскохозяйственных площадях. На первых этапах структурообразующие вещества необходимо доставлять из внешних источников.

Для обеспечения жителей ЭКД косметическими средствами, действующими компонентами которых будут природные эфирные масла, экстракты лекарственных растений, грибов, достаточно площади 100–150 м<sup>2</sup>. При этом для выращивания определённых видов культур (тимьян,

мята) может быть использована многоярусная система высадки.

Основное технологическое оборудование для производства косметической продукции включает в себя реактор и весы.

В качестве примера ниже приведены рецептуры для производства двух видов косметической продукции: геля для умывания лица, крема для рук.

#### Рецептура геля для умывания лица

Состав геля для умывания лица представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Состав геля для умывания лица

Фаза	Ингредиент	Массовая доля, %	Функциональное назначение
A	Aqua	54,8	Растворитель
	Sodium Cocoyl Isethionate	1,5	Сурфактант
B	PEG-7 Glyceryl Cocoate	2	Эмолиент
	Cocamidopropyl Betaine	8	Сурфактант
	Sodium Lauryl Glucose Carboxylate (and) Lauryl Glucoside	10	Сурфактант
	Coco-Glucoside, Glyceryl Oleate	8	Эмолент
C	Acrylates/Beheneth-25 Methacrylate Copolymer	3	Структурообразователь
D	Sodium Hydroxide	0,9	Регулятор уровня pH
E	Disiloxane	5	Эмолиент
	Poloxamer 407	5	Сурфактант
F	PEG/PPG-120/10 Trimethylolpropane Trioleate, Laureth-2	0,8	Структурообразователь
G	Benzyl Alcohol, Ethylhexylglycerin, Tocopherol	1	Консервант

Приведём технологические стадии производства данного косметического продукта:

- 1) нагрев фазы А до 65 °С при перемешивании до получения однородной структуры;
- 2) поочерёдный ввод фаз В, С в фазу А;
- 3) корректировка уровня рН (фаза D);
- 4) ввод фазы Е при перемешивании;
- 5) ввод фазы F для регуляции вязкости продукта;
- 6) ввод консерванта (фаза G).

#### Рецептура крема для рук

Состав крема для рук представлен в таблице 3.

Приведём технологические стадии производства данного косметического продукта:

- 1) смешивание компонентов фазы А;
- 2) ввод фазы В в фазу А при перемешивании до однородной консистенции;
- 3) нагрев фазы С до 50 °С и ввод в фазы А + В;
- 4) ввод консерванта (фаза D);
- 5) ввод отдушки (фаза E).

#### Выводы и дальнейшие направления исследования

Исходя из вышеизложенного, авторами сделан вывод: производство косметической продукции для нужд жителей ЭКД можно разместить на его территории. Данное решение экономически целесообразно, так как большое количество необходимого сырья будет произрастать внутри космических поселений, что в свою очередь уменьшит издержки на доставку его с Земли.

В качестве основного вида косметической продукции для жителей ЭКД выбрана аптечная уходовая косметика, которая является своеобразным лекарственным средством профилактического действия, защищающим потребителя не только от негативного изменения внешнего вида вследствие естественных процессов, но и от возможных кожных заболеваний.

Предложен перечень косметических продуктов, которыми необходимо обеспечить каждого жителя ЭКД.

В качестве примера приведены разработанные авторами рецептуры для производства натуральной косметической продукции, базирующиеся на положительном действии отдельных компонентов.

Таким образом, в ЭКД могут быть получены передовые косметические средства различной направленности: декоративные, уходовые, лекарственные. Ввиду отсутствия необходимости в длительном хранении перед применением (до трёх суток) появляется возможность отказаться от консервантов, неблагоприятно влияющих на кожные и волосные покровы. Применение органического сырья обеспечит высокие качественные показатели производимой косметической продукции и совместно с другими экологическими биотехнологическими решениями позволит жителям ЭКД поддерживать молодость, здоровье кожи и волос.

Для изучения воздействия на организм человека комплекса косметических средств в дальнейшем планируется провести опытные исследования.

#### Литература

1. Chouhan, N. *Cosmetics Market by Category, Gender, and Distribution Channel: Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2021-2027 [Electronic resource]* / N. Chouhan, H. Vig, R. Deshmukh. – Mode of access: <https://www.alliedmarket-research.com/cosmetics-market>. – Date of access: 11.07.2022.

Таблица 3 – Состав крема для рук

Фаза	Ингредиент	Массовая доля, %	Функциональное назначение
А	Aqua	91,8	Растворитель
	Glycerin	3	Гумектант
В	Sodium Polyacrylate	1	Стабилизатор
С	Coco Caprylate/Caprates	3	Регулятор вязкости
D	Benzyl Alcohol, Ethylhexylglycerin, Tocopherol	1	Консервант
E	Parfum	0,2	Отдушка

2. Самуйлова, Л.В. *Косметическая химия* / Л.В. Самуйлова, Т.В. Пучкова. – М.: Шк. космет. химиков, 2005. – 11 с.
3. Юницкий, А.Э. *Локализация объектов промышленного назначения на круговой экваториальной околоземной орбите* / А.Э. Юницкий, А.В. Кушниренко, Е.Н. Кулик // *Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьяна Горка, 12 сент. 2020 г.* / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – С. 230–245.
4. *О безопасности парфюмерно-косметической продукции: ТР ТС 009/2011: утв. решением Комис. Тамож. союза от 23 сент. 2011 г. № 799.* – М., 2011.
5. *О некоторых правовых аспектах оборота косметики лечебно-профилактического действия на фармацевтическом рынке* / Л.М. Кузякова [и др.] // *Инновации и инвестиции.* – 2019. – № 8. – С. 183–189.
6. Вернер, М.С. *Исследование структурных сдвигов потребительского спроса на рынке косметических продуктов: магистер. дис.: 38.04.02, 38.04.02.06* / М.С. Вернер. – Красноярск, 2018. – 74 л.
7. *Дерматология: атлас-справочник: пер. с англ.* / Т. Фицпатрик [и др.]. – М.: Практика, 2007. – 1262 с.
8. Хэбиф, Т.П. *Кожные болезни. Диагностика и лечение: пер. с англ.* / Т.П. Хэбиф; под общ. ред. А.А. Кубановой. – 3-е изд. – М.: МЕДпресс-информ, 2008. – 672 с.
9. Иванов, О.Л. *Кожные и венерические болезни* / О.Л. Иванов. – М.: Медицина, 1997.
10. *Кожные и венерические болезни: рук. для врачей: в 2 т. – 2-е изд., перераб. и доп. – Т. 2* / под ред. Ю.К. Скрипкина, В.Н. Мордовцева. – М.: Медицина, 1999. – 880 с.
11. *Pigmentation in Mammalian Skin and Its Hormonal Regulation* / A. Slominski [et al.] // *Physiological Reviews.* – 2004. – Vol. 84. – P. 1155–1228.
12. Trueb, R.M. *Aging of Hair* / R.M. Trueb // *Journal of Cosmetic Dermatology.* – 2005. – Vol. 4. – P. 60–72.
13. Sarin, K.Y. *Aging, Graying and Loss of Melanocyte Stem Cells* / K.Y. Sarin, S.E. Artandi // *Stem Cell Reviews and Reports.* – 2007. – Vol. 3. – P. 212–217.
14. *The Redox-Biochemistry of Human Hair Pigmentation* / K.U. Schallreuter [et al.] // *Pigment Cell & Melanoma Research.* – 2011. – Vol. 24. – P. 51–62.
15. *Premature Hair Whitening Is an Independent Predictor of Carotid Intima-Media Thickness in Young and Middle-Aged Men* / T. Endogan [et al.] // *Internal Medicine.* – 2013. – Vol. 52. – P. 29–36.
16. *Association of Premature Hair Graying with Family History, Smoking and Obesity: A Cross-Sectional Study* / H. Shin [et al.] // *Journal of the American Academy of Dermatology.* – 2015. – Vol. 72. – P. 321–327.
17. Prokhorov, L.Yu. *Ontogenetic Role of Melatonin and Neuroactive Steroids as Antistress Hormones* / L.Yu. Prokhorov, V.I. Goudochnikov // *Gerontology.* – 2014. – Vol. 2. – P. 157–170.
18. *Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьяна Горка, 12 сент. 2020 г.* / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – 516 с.
19. Зыль, Н.С. *Разработка универсального рациона питания жителей ЭкоКосмоДома* / Н.С. Зыль, Е.А. Шахно // *Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы IV междунар. науч.-техн. конф., Марьяна Горка, 18 сент. 2021 г.* / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2022. – С. 259–267.

# Инновационные и традиционные способы приготовления и сохранения натуральной пищи в ЭкоКосмоДоме

Юницкий А.Э.<sup>1,2</sup>,  
доктор философии транспорта

Конёк Д.А.<sup>2</sup>

Зыль Н.С.<sup>2</sup>

Корней В.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО «Астроинженерные  
технологии»,  
г. Минск, Беларусь

<sup>2</sup> ЗАО «Струнные технологии»,  
г. Минск, Беларусь



Обобщены изыскания последних лет в области современных оптимальных способов хранения и приготовления пищи, которые могут быть применимы в условиях ЭкоКосмоДома (ЭКД). Проведён анализ методов сушки, обеспечивающих максимальную сохранность питательных и вкусовых характеристик продуктов, а также технологии создания газовой среды для хранения плодов в регулируемой атмосфере и вакуумной технологии приготовления блюд *sous vide* (су-вид).

*Ключевые слова:* дегидратация, метод приготовления пищи *sous vide* (су-вид), новые технологии, срок годности, ЭкоКосмоДом (ЭКД).

УДК 664.8





## Введение

Согласно заключению экспертов Всемирной организации здравоохранения здоровье человека примерно на 50 % зависит от правильного питания, остальные 50 % обусловлены социальными факторами, генетикой, экологией и др. В связи с этим высокое качество, натуральность и полезность пищи являются основными критериями выбора продуктов в ЭкоКосмоДоме (ЭКД) [1].

С учётом сезонности созревания плодов и необходимости поддержания продовольственной безопасности в мире всё чаще встаёт вопрос о сохранении урожая до сбора нового. Однако, как бы человек ни старался, часть продуктов неизбежно портится по различным причинам. Существенная роль в этом процессе принадлежит микроорганизмам: бактериям и плесневым грибам. Кроме того, на срок годности растениеводческой продукции влияют место хранения, микроклимат в нём, а также способ уборки и доставки. Каждый из этих факторов очень важен. По оценке Международного института холода, общие потери всех продуктов питания в мире составляют примерно 25 % от суммарно произведённых, в том числе скоропортящихся – до 20 % [2]. Так, при механической уборке урожая сбор, выкапывание, перевозка, транспортирование из бункера в хранилище и другие операции, выполняемые машинами, сильно травмируют плоды, нарушают их целостность. В повреждённых овощах и фруктах развиваются гнилостные бактерии и прочие патогенные микроорганизмы, что значительно сокращает потенциально возможный срок годности.

В связи с вышеизложенным цель настоящей работы – анализ современных методов хранения продовольственных продуктов и приготовления в ЭКД полезных блюд для здорового питания человека. Задачи: изучение технологий сушки, создания газовой среды для хранения плодов в регулируемой атмосфере; выбор оптимального способа сушки фруктов, грибов и овощей; анализ методов термической обработки пищи; практическое обоснование преимуществ применения технологии sous vide (су-вид) для приготовления продуктов в ЭКД.

## Технологии сушки

Как известно, сушка фруктов и овощей позволяет употреблять их в пищу длительное время, при этом вкусовые качества этих продуктов меняются незначительно. Сушёные плоды вкусны, питательны, легки, просты в приготовлении, удобны в хранении и использовании. Они имеют много волокон, углеводов и отличаются незначительным содержанием жира, поэтому являются важной частью здорового образа жизни [3].

Срок годности продуктов зависит от активности воды, содержащейся в них, – чем она выше, тем быстрее происходит порча. Значение данного показателя в сушёных продуктах – одно из самых низких. Следовательно, при сушке фруктов и овощей уменьшается вероятность развития патогенной микрофлоры.

Способы продления сроков хранения и сокращения порчи пищевой продукции постоянно совершенствуются. Достижения последних лет в области обезвоживания и разработка новых методов сушки позволяют приготовить широкий ассортимент дегидрированных продуктов и полуфабрикатов из фруктов и овощей, отвечающих требованиям качества, стабильности и функциональности в сочетании с экономией [4].

### Сушка на солнце

Сахар и кислота, содержащиеся в фруктах, считаются природными консервантами, что делает процесс сушки на солнце безопасным [5]. В овощах этих веществ мало, что увеличивает риск их порчи. Богатое белком мясо – идеальная среда для микробного роста, особенно при невозможности контроля температуры и влажности окружающей атмосферы.

Для сушки на солнце в условиях Земли лучше всего подходят жаркие (от 30 °С) сухие ветреные дни. Второе важное

требование для эффективной дегидрации на солнце – это влажность воздуха (ниже 60 %). Такие климатические параметры в течение нескольких дней подряд не везде возможны. Поскольку погода неуправляема, сушка на солнце может быть рискованной. В южных регионах проблемой для качественного обезвоживания является повышенная влажность. Сложность контроля необходимых для дегидрации показателей заставляет искать альтернативные способы сохранения растениеводческой продукции [6].

В ЭКД реально организовать орбитальную сушку на солнце при определённых сочетаниях температурных и безвоздушных параметров (различная глубина разрежения воздуха, вплоть до глубокого вакуума), однако данное направление требует отдельных исследований, выходящих за рамки настоящей работы.

### Сушка в дегидраторе

Дегидратор представляет собой корпус, внутри которого установлены нагревательный элемент, вентилятор и датчик контроля температуры. Интенсивность нагрева регулируется с помощью панели управления. Предварительно подготовленные (нарезанные) продукты – овощи, фрукты, грибы, зелень – размещаются на сетчатых поддонах, позволяющих воздуху свободно циркулировать между ними. Большинство дегидраторов способны поддерживать температуру в диапазоне 35–70 °С, что вполне достаточно для выполнения имеющихся задач.

Опытным путём установлено, что сушка при высоких температурах (65–70 °С) более предпочтительна, чем при низких (35–50 °С). Разные продукты требуют индивидуальных показателей для эффективной дегидрации. Температура 45 °С оптимальна для трав, 55 °С – для фруктов, 50 °С – для грибов, 65 °С – для мяса. У дегидратора имеется функция контроля температурного режима, что обуславливает расширение спектра его применения. Основная проблема при выборе неправильной температуры – пересушенные продукты, которые можно употреблять лишь предварительно размочив либо приготовив их в составе супов, соусов или тушёных блюд.

### Сублимационная сушка

Сублимационная сушка – более совершенный и современный способ дегидрации. По причине высокой стоимости используемого оборудования он только недавно получил широкое применение. Суть метода заключается в следующем: при низком атмосферном давлении вода существует только в твёрдом и газообразном агрегатных состояниях

(тройная точка воды при температуре 0,01 °С и давлении 611 Па); при данных параметрах лёд можно преобразовать в пар напрямую без перевода в жидкое состояние.

При таком способе дегидрации продукты замораживаются и начинают понижать окружающее давление. В условиях вакуума их подвергают нагреву до 0 °С, что вызывает испарение льда, а все витамины и другие полезные вещества сохраняются.

Сублимационная сушка как вариант обезвоживания обычно используется, чтобы увеличить срок годности скоропортящихся продуктов или сделать более удобной их транспортировку; максимально востребована при изготовлении лекарств, заквасок, экстрактов лекарственных растений, ферментов и других продуктов, т. е. там, где нужно сберечь наибольшее количество ценных свойств на длительное время.

Благодаря минимальной влажности (всего до 5 %) готовый продукт может долго храниться даже при комнатной температуре (до 25 °С), что крайне важно для лекарственных составляющих медицинских препаратов [7]. В пищевой промышленности сублимационная сушка не только позволяет долгое время удерживать все полезные вещества, аромат и вкусовые качества продуктов, но и увеличивает их срок годности до пяти лет даже при изменяющейся температуре в пределах ±50 °С. Следует также отметить минимальную объёмную усадку при таком способе дегидрации. Кроме того, продукт легко восстанавливается до первоначальной структуры путём добавления небольшого количества воды, так как в процессе сублимации он приобретает пористую структуру.

### Осмотическая дегидратация

Процесс осмотического обезвоживания представляет собой частичное удаление воды из продуктов растительного происхождения в результате их погружения на определённое время и при определённой температуре в концентрированные водные растворы, содержащие соли и/или сахара и имеющие высокие осмотические свойства. В итоге происходит перемещение воды из более низкой концентрации растворённого вещества в более высокую концентрацию через полупроницаемую мембрану, что приводит к равновесному состоянию на обеих её сторонах.

Осмотическая дегидратация – многокомпонентный процесс диффузии, который включает в себя три типа явлений массопереноса:

- 1) отток воды из клеток тканей продукта;
- 2) перенос растворённого вещества из осмотического раствора в продукт;

3) вымывание растворённых веществ из клеток тканей продукта (витамины, минеральные вещества, органические кислоты) в осмотический раствор.

Третий процесс количественно незначителен по сравнению с первыми двумя типами переноса, однако является определяющим в отношении состава продукта. Его движущая сила – разница в осмотическом давлении растворов по обе стороны от полупроницаемых клеточных мембран.

Осмотическое обезвоживание позволяет получить готовый продукт питания с высокими органолептическими свойствами и оптимальной энергетической ценностью за счёт частичного удаления влаги [8]. По сравнению с другими методами сушки этот процесс отличается минимальными повреждениями клеточных стенок, благодаря чему сохраняет питательные компоненты в большем количестве.

Осмотическая дегидратация снижает количество воды в клетках продукта, необходимое для участия в химических и биохимических реакциях. Таким образом, чем меньше массовая доля воды в продукте, тем меньше вероятность возникновения микробиологического роста на его поверхности [9].

### Камеры хранения с регулируемым содержанием газов

Фрукты и овощи после сбора продолжают дышать, т. е. поглощают кислород (O<sub>2</sub>) и выделяют углекислый газ (CO<sub>2</sub>). Со временем это приводит к ухудшению качества плодов (увядание, появление пятен и др.).

Для того чтобы снизить интенсивность дыхания, урожай, как правило, стараются держать в холодном месте. Однако уменьшения температуры окружающей среды не всегда достаточно для сохранения свежести и продления срока годности продуктов. Наиболее эффективно совместное применение методов: контроль температуры окружающей среды, минимизация уровня O<sub>2</sub> и увеличение содержания CO<sub>2</sub> в камере.

Процесс оксидации плода замедляется при уменьшении концентрации O<sub>2</sub>, но до определённой границы, ниже которой анаэробное дыхание микроорганизмов возобновляется. Следовательно, необходимо поддерживать незначительное содержание O<sub>2</sub>, количество которого индивидуально для каждого вида продукции.

Сахароза, имеющаяся в фруктах, постепенно превращается в фруктозу. В камерах с повышенным содержанием CO<sub>2</sub> этот процесс замедляется, что позволяет плодам сохранять твёрдость и привлекательный вид на более существенный срок.

Согласно исследованиям хранение в регулируемой атмосфере приводит к падению интенсивности метаболических процессов в 2–3 раза, радикально продлевая срок годности [10]. Другим преимуществом данной технологии является сокращение развития физиологических и грибковых заболеваний (на 20–25 %). Период увядания яблок, например, увеличивается на 20–30 %. Благодаря замедлению процессов диссимиляции плоды имеют первоначальное качество компонентов (ароматические субстанции, кислота, сахар и др.). В конце срока хранения фрукты остаются такими же вкусными и свежими, как в начале.

В камерах хранения различают несколько типов регулируемой атмосферы:

1) традиционная регулируемая атмосфера (traditional controlled atmosphere – TCA): 3–4 % O<sub>2</sub>, 3–5 % CO<sub>2</sub>. Камеры загружаются в течение 7–10 дней; требуемая концентрация газов должна быть достигнута в течение 2–3 недель. Рекомендуемая температура колеблется в пределах 0–3,5 °C;

2) с низким содержанием кислорода (low oxygen – LO): 2–2,5 % O<sub>2</sub>, 1–3 % CO<sub>2</sub>;

3) с ультранизким содержанием кислорода (ultra low oxygen – ULO): менее 1–1,5 % O<sub>2</sub>, 0–2 % CO<sub>2</sub> (иногда выше). Данные значения зависят от сорта овощей и фруктов, района выращивания, степени зрелости и других факторов. Камеры должны загружаться продукцией как можно быстрее.

Известны следующие технологии создания газовой среды и хранения плодов в регулируемой атмосфере:

- RCA (rapid controlled atmosphere) – быстрое снижение концентрации кислорода;
- ILOS (initial low oxygen stress) – сверхбыстрое снижение уровня кислорода в камере за короткий промежуток времени;
- LECA (low ethylene controlled atmosphere) – снижение уровня этилена в камере;
- CO<sub>2</sub> shock treatment – шоковая обработка углекислым газом (воздействие атмосферы с повышенным содержанием CO<sub>2</sub> (до 30 %));
- DCA (dynamic controlled atmosphere) – поддержание режима хранения в зависимости от физиологического состояния плодов [11].

Выбор технологии обусловлен видом продукции, сроком хранения и поставленными технологическими задачами.

В таблице 1 приведено сравнение технологий сушки и хранения плодово-овощной продукции [12].

Таблица 1 – Сравнительный анализ технологий сушки и хранения плодово-овощной продукции

Метод	Достоинства	Недостатки
Сушка на солнце (в естественных условиях)	Экономичность	Неравномерность сушки Низкая скорость сушки Зависимость от погодных условий
Сушка в дегидрататоре	Регулируемость температурного режима Однородность воздушного потока	Ограниченный объём дегидрататора, что влияет на количественный выход продукта в единицу времени
Сублимационная сушка	Сохранение до пяти лет ароматических веществ и вкусовых качеств продукта Продление срока годности скоропортящегося продукта Удобная транспортировка продукта Минимальная усадка продукта Использование для консервирования лактобактерий, микроорганизмов и биопрепаратов	Дорогостоящее оборудование в условиях Земли
Осмотическая дегидратация	Незначительные повреждения клеточных стенок пищевого продукта Сохранение большого количества питательных компонентов	Необходимость подбора осмотического агента, его концентрации и времени погружения для каждого вида продукта
Камеры хранения с регулируемым содержанием газов	Снижение в 2–3 раза интенсивности метаболических процессов Сохранение твёрдости и привлекательного вида плодов на более длительный срок Сокращение развития физиологических и грибковых заболеваний	Габаритное и дорогое оборудование в условиях Земли, предназначенное для больших объёмов перерабатываемого сырья

### Приготовление пищи по технологии sous vide (су-вид)

На рынке общественного питания не прекращается поиск решений, позволяющих улучшить качество и потребительские свойства продукции. Сравнивают и изучают не только органолептические, но и физико-химические, микробиологические показатели, наличие токсичных элементов в исследуемых образцах. Обеспечение качественными, полезными и безопасными продуктами – одна из приоритетных задач для организации здорового рациона жителей ЭКД.

Производителям в условиях рыночной конкуренции, подчинённых ритму жизни современного человека, постоянно приходится вводить различные новшества и рационализировать производство, искать способы и методы

уменьшения издержек и при этом соответствовать требованиям международных документов, предъявляемым к качеству и безопасности продовольствия, чтобы сделать возможным его выход на новый уровень и повысить объём продаж [13].

Один из таких инновационных способов – приготовление мяса и овощей в вакуумной упаковке преимущественно на водяной бане по технологии су-вид, которая позволяет сохранить полезные свойства при тепловой обработке, снизить технологические потери, минимизировать расход энергетических и трудовых ресурсов на единицу продукции. Щадящая термическая обработка сырья обеспечивает равномерный прогрев, сохранение не только органолептических характеристик продукта, но и его высокой биологической и пищевой ценности [14]. Блюдо готовится из сырого состояния в вакуумном пакете при сравнительно низких

температурах (50–80 °С). Если температура внутри продукта не превышает 68 °С, то его клетки сохраняют возможность удерживать жидкость, а значит, он не теряет сочность.

Процесс занимает больше времени, чем требуется при использовании других методов термической обработки, но температура приготовления гораздо ниже. Дополнительное преимущество – продукт готовится в собственном соку равномерно и не контактирует со средой (вода, масло), что способствует сохранению однородной консистенции, насыщенного вкуса и всех питательных веществ.

При приготовлении различных блюд данным методом необходимо постоянно отслеживать температуру с точностью до 1 °С. Такой жёсткий контроль следует начинать на стадии выбора сырья и продолжать до конца процесса с целью исключения роста патогенной микрофлоры, которая будет разрушаться при длительном нагреве и температурах, близких к температуре пастеризации (65–80 °С) [15].

Преимущества вакуумной упаковки [16]:

- позволяет теплу эффективно передаваться из воды (пара) к пище;
- препятствует появлению привкусов от окисления;
- предотвращает потери в результате испарения летучих ароматных веществ и влаги во время приготовления пищи;
- уменьшает рост аэробных бактерий;

- даёт возможность с лёгкостью сохранить в холодильнике или морозильнике готовую пищу для последующего использования – непосредственно в вакуумном пакете.

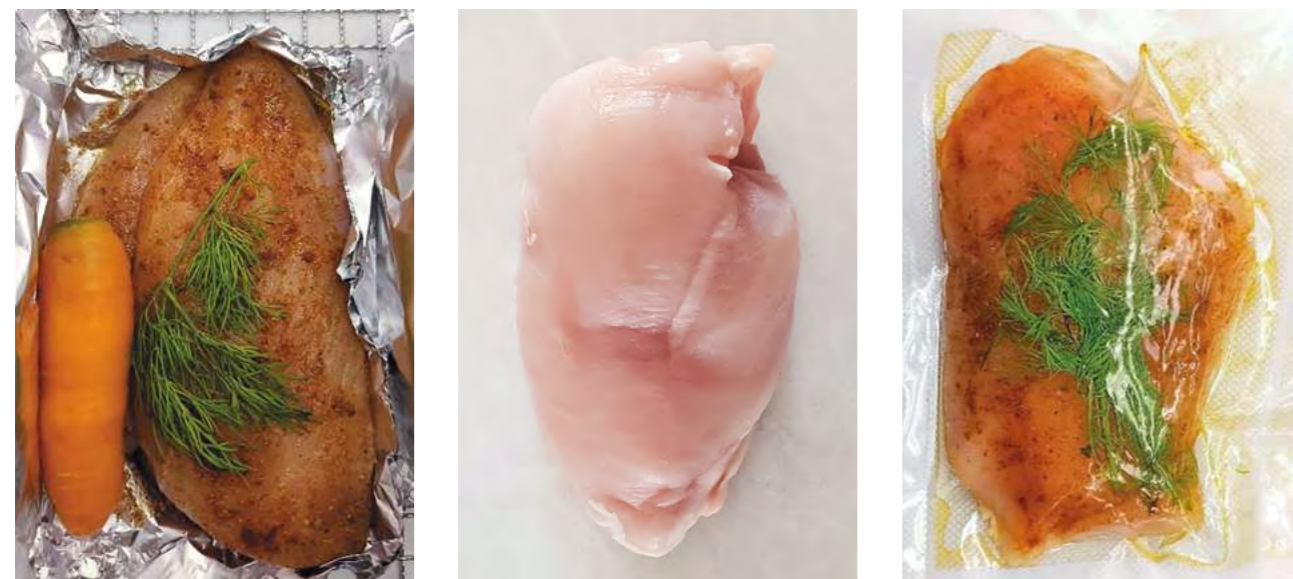
Вакуумная упаковка помогает продлить срок годности продуктов, причём без дополнительных добавок, что облегчает труд домохозяйек и востребовано на предприятиях питания, для которых срок хранения товара и, соответственно, время его реализации играют важную роль в конкурентоспособности.

Для подтверждения вышеизложенного поставлен следующий эксперимент: куриное филе I категории массой (200 ± 10) г подвергли термообработке тремя способами:

- 1) запекание в духовом шкафу при температуре 200 °С на протяжении 25 мин в пищевой алюминиевой фольге;
- 2) варка в подсоленной воде со специями в течение 40 мин;
- 3) приготовление в вакуумном пакете в термостате при температуре 60 °С в течение 50 мин.

При проведении исследования применяли стандартные физико-химические и органолептические методы. Для всех способов приготовления использовали одинаковый набор специй и оливковое масло сорта extra virgin.

Исходные образцы куриного филе представлены на рисунке 1.



а)

б)

в)

Рисунок 1 – Сырое куриное филе до термической обработки:  
а – для запекания в пищевой фольге; б – для варки в подсоленной воде со специями;  
в – для приготовления в вакуумном пакете по технологии су-вид



а)



б)



в)

Рисунок 2 – Куриное филе после термической обработки:  
а – запечённое в пищевой фольге; б – отваренное в подсоленной воде со специями;  
в – приготовленное в вакуумном пакете по технологии су-вид

Таблица 2 – Оценка органолептических показателей куриного филе, приготовленного разными способами

Показатель	Усреднённая оценка, баллов		
	Запекание в духовом шкафу	Варка в подсоленной воде со специями	Приготовление методом су-вид
Сочность	7	5	9
Вкус, цвет, запах	8	4	9
Консистенция (мягкость)	8	4	9

Таблица 3 – Влажность куриного филе, приготовленного разными способами

Показатель	Запекание в духовом шкафу	Варка в подсоленной воде со специями	Приготовление методом су-вид
Влажность, %	65,6	67,4	70

Аналогичным образом осуществлены исследования термообработки овощей на примере молодой моркови:

- 1) запекали в пищевой фольге на протяжении 50 мин в духовом шкафу при температуре 220 °С;
- 2) варили 60 мин в подсоленной воде при слабом кипении;
- 3) готовили 50 мин в вакуумном пакете в термостате при температуре 80 °С.

Результаты термообработки моркови представлены на рисунке 3.

Сведения по оценке эксперимента с морковью приведены в таблице 4.

Наиболее высокие баллы по органолептическим показателям дегустационная комиссия поставила куриному

мясу и моркови, приготовленным в вакуумном пакете методом су-вид. Спустя трое суток продукты не потеряли своей сочности и других важных характеристик.

Технология су-вид доступна не только для предприятий общественного питания и пищевой промышленности, но и может быть использована в повседневном домашнем приготовлении, в том числе в ЭКД. На рынке предлагается немало установок су-вид (погружных и стационарных) и сопутствующих товаров, например бытовых вакууматоров [14].

### Выводы

В наши дни каждому стали доступны современные технологии сохранения урожая и продления сроков годности

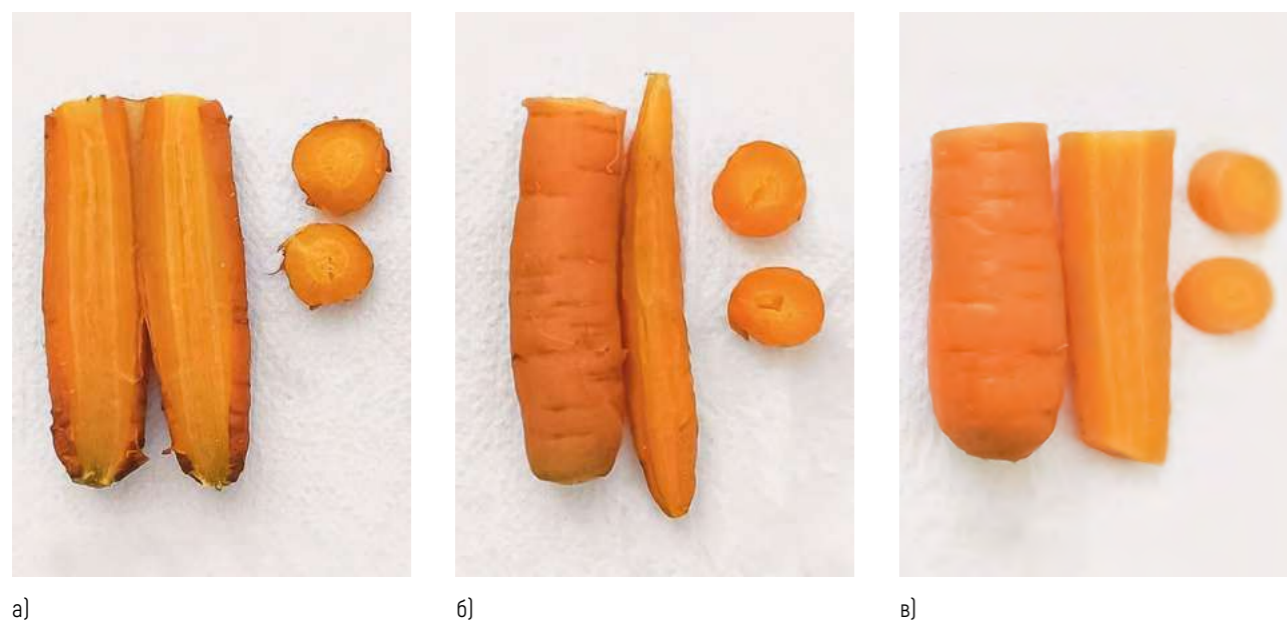


Рисунок 3 – Морковь после термической обработки:  
а – запечённая в духовом шкафу в пищевой фольге; б – отваренная в подсоленной воде;  
в – приготовленная в вакуумном пакете методом су-вид

Таблица 4 – Оценка органолептических показателей моркови, приготовленной разными способами

Показатель	Усреднённая оценка, баллов		
	Запекание в духовом шкафу	Варка в подсоленной воде	Приготовление методом су-вид
Вкус	7	4	9
Цвет, запах	8	6	9

плодоводческой продукции при минимальных временных затратах и с максимальным сбережением питательных веществ.

Учитывая нехватку свободного времени у урбанизированного человека, научные разработки делают процесс приготовления пищи недолгим, а блюда разнообразными и полезными, что очень важно для здоровья и жизнедеятельности людей, в том числе находящихся в ЭКД. Бытовой дегидратор предназначен для быстрой сушки различной продукции, например зелени, ягод, фруктов, грибов, мяса, и даёт возможность любой семье обеспечить себя заготовками. Одним из способов тепловой обработки продуктов питания с максимальным сохранением органолептических показателей является технология су-вид, что подтверждено результатами проведённых экспериментов. На сегодняшний день разработаны и бытовые системы су-вид, которые малогабаритны и легки в применении, функциональны и позволят жителям ЭКД самостоятельно готовить всевозможные вкусные блюда.

### 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. Генель, Л.С. Увеличение срока хранения пищевой продукции / Л.С. Генель, М.Л. Галкин // Пищевая индустрия. – 2017. – № 3 (33). – С. 34–36.
3. Зименкова, Ф.Н. Питание и здоровье: учеб. пособие / Ф.Н. Зименкова. – М.: Прометей, 2016. – 168 с.
4. Глухов, Е.И. К вопросу о сушке продуктов / Е.И. Глухов // Пищевые инновации и биотехнологии: сб. тез. IX междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных в рамках III междунар. симпозиума «Инновации в пищевой биотехнологии», Кемерово, 17–19 мая 2021 г.: в 2 т. / Кемеров. гос. ун-т; под общ. ред. А.Ю. Просекова. – Кемерово: КемГУ, 2021. – Т. 2. – С. 94–95.
5. Effect of Air-Drying Temperature on Physico-Chemical Properties, Antioxidant Capacity, Colour and Total Phenolic Content of Red Pepper (*Capsicum annuum*, L. var. *Hungarian*) / A. Vega-Gálvez [et al.] // Food Chemistry. – 2009. – Vol. 117, No. 4. – P. 647–653.
6. Использование концентрированной солнечной энергии для сушки плодово-ягодного сырья / З.А. Исаев [и др.] // Современные технологии и достижения науки в АПК: сб. науч. тр. всерос. науч.-практ. конф., Махачкала,

22–23 нояб. 2018 г. – Махачкала: ФГБОУ ВО Дагестан. ГАУ, 2018. – С. 201–204.

7. Wanning, S. Pharmaceutical Spray Freeze Drying / S. Wanning, R. Süverkrüp, A. Lamprecht // International Journal of Pharmaceutics. – 2015. – Vol. 488, No. 1–2. – P. 136–153.
8. Different Drying Methods: Their Applications and Recent Advances / N. Ahmed [et al.] // International Journal of Food Nutrition and Safety. – 2013. – Vol. 4, No. 1. – P. 34–42.
9. Исследование процессов сублимационной сушки ягод / В.А. Ермолаев [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2011. – № 1 (20). – С. 67–70.
10. Семёнов, П.Н. Хранение плодов и овощей в регулируемой газовой среде // Достижения науки – сельскому хозяйству: материалы всерос. науч.-практ. конф., Владикавказ, 2–3 окт. 2017 г. – Владикавказ: ФГБОУ ВО ГТАУ, 2017. – Т. 1, ч. 1. – С. 235–238.
11. Петров, Е.Т. Особенности экспериментального и предпроектного исследования камер фруктоовощехранилищ с регулируемой газовой средой / Е.Т. Петров, А.А. Круглов, А.Ф. Опалихин // Вестник Международной академии холода. – 2016. – № 3. – С. 62–67.
12. Шкарупа, И.Л. Керамический высокотемпературный реактор на быстрых нейтронах / И.Л. Шкарупа, А.К. Хмельницкий, М.И. Шкарупа // Science and World. – 2022. – Vol. 12, No. 4 (104). – P. 50–58.
13. Стряпихин, Н. Технология су-вид: в чём опасность и уникальность? // Мясные технологии. – 2018. – № 8 (188). – С. 24–25.
14. Меретукова, Ф.Н. Исследование показателей качества полуфабрикатов из мяса индейки, приготовленных по технологии су-вид / Ф.Н. Меретукова, Н.В. Абрегова // Новые технологии. – 2021. – Т. 17, № 2. – С. 48–55.
15. Карпенко, Ю.В. Оценка показателей качества и безопасности рыбной продукции, полученной по технологии sous vide (су-вид) / Ю.В. Карпенко, Е.М. Панчишина, В.А. Скальская // Научные труды Дальрыбвтуза. – 2019. – № 2 – С. 52–61.
16. Покровский, Г.Д. Су-вид – инновационная технология на предприятиях общественного питания / Г.Д. Покровский // Конкурентоспособность территорий: материалы XXII всерос. эконом. форума молод. учёных и студентов, Екатеринбург, 22–26 апр. 2019 г.: в 5 ч. / отв. за вып. Я.П. Силин, Е.Б. Дворянкина. – Екатеринбург: УрГЭУ, 2019. – Ч. 1. – С. 215–217.

# Количественная оценка углеродного баланса сообществ автотрофов и гетеротрофов в прототипе замкнутой экосистемы

Павлюченко А.М.

Налетов И.В.

Пятакова Т.И.

Заяц В.С.

ЗАО «Струнные технологии»,  
г. Минск, Беларусь



Проанализированы факторы, влияющие на существование автотрофов и гетеротрофов, показана роль гумуса в поддержании устойчивости почвенной экосистемы. Приведены данные углеродного баланса, полученные при выполнении эксперимента по созданию замкнутой экосистемы, а также оценена динамика концентрации диоксида углерода с момента образования экосистемы до установившегося газового постоянства.

**Ключевые слова:** замкнутая экосистема, круговорот элементов, метаболизм экосистемы, углеродный баланс, фотосинтетически активная радиация (ФАР), ЭкоКосмоДом (ЭКД), эмиссия  $CO_2$ .





## Введение

В настоящее время вследствие роста числа глобальных экологических проблем стало уделяться серьёзное внимание вопросам биосферы (исчезновение видов, изменение климата, истощение природных ресурсов) и входящих в её состав экосистем. Накоплено большое количество данных об устройстве экосистем, однако до сих пор недостаточно известно о процессах, осуществляющих и регулирующих обмен веществ, энергии и информации в них, а также о принципах поддержания гомеостаза. Имеет место явная нехватка надёжной теоретической базы и практических навыков для замыкания естественных циклов в экосистемах (например, круговорота углерода в условиях ЭкоКосмоДома [ЭКД]). Для решения обозначенной проблемы значительная роль отводится изучению биосферных процессов на базе построения аналогов биогеоценозов [1]. В связи с вышеизложенным 11 октября 2021 г. авторами создана малая замкнутая экосистема для практических исследований, направленных на обеспечение нужд ЭКД.

Любая экосистема поддерживается в стабильном состоянии благодаря её метаболизму – циклическому механизму функционирования, который состоит из двух противоположно направленных процессов: анаболизма (синтез биомассы из минеральных элементов) и катаболизма (деструкция отмершей органики до минеральных элементов). Функцию анаболизма выполняет в основном фитоценоз, а катаболизма – педоценоз. Симбиоз компонентов образует систему взаимного жизнеобеспечения.

В замкнутых экосистемах круговорот элементов должен быть организован так, чтобы вещества, с определённой скоростью используемые одними звеньями, с такой же средней скоростью регенерировались другими звеньями из конечных продуктов их обмена до исходного состояния, а затем вновь использовались. В ЭКД предполагается направленное воздействие человека на биологические процессы для поддержания их в оптимальном состоянии.

Такой равновесный принцип применим не только к круговороту биогенных элементов (углерод, азот, фосфор и др.), но и к динамике популяций. Количество особей в популяции, её плотность, взаимосвязи, продолжительность онтогенеза – важнейшие факторы существования экосистем. Контролировать и учитывать указанные параметры для всех организмов в замкнутой экосистеме достаточно сложно, поэтому в первую очередь следует сосредоточиться на доминирующих видах, которые выполняют основную работу по трансформации веществ и энергии в системе. К ним относят представителей разных трофических групп,

которые включают в циклы оборота поколений большую порцию энергии и вещества. В процессе жизнедеятельности данные виды совершают наиболее значительные преобразования среды и характеризуются широкими диапазонами экологической толерантности ко многим факторам.

## Влияние факторов среды на устойчивость замкнутых экосистем

Так как имеется необходимость подбора оптимальных параметров для замкнутой экосистемы, следует дать общее понятие термина «устойчивость». В литературе авторы трактуют его по-разному [2, 3]. Ряд исследователей полагают, что любые экосистемы устойчивы уже в силу самого факта их существования, другие считают устойчивыми те, в которых нет явных эволюционных смен. Многим экосистемам во время прохождения ими стадий развития свойственно отсутствие стационарного состояния, и даже конечной стадии сукцессии (климаксу) присущи изменения [4]. В данном контексте видится наиболее правильным рассматривать устойчивость как характеристику длительного динамического равновесия ключевых биогенных элементов.

Устойчивость экосистем в значительной степени определяют абиотические факторы. Видовой состав, численность и функциональные связи разных групп почвенных животных могут изменяться в течение вегетационного сезона. В зависимости от климатических условий варьируются ключевые функциональные параметры педоценоза, такие как интенсивность поступления и деструкции органического вещества, состав микробного сообщества. Предполагается, что эти изменения отражаются и на трофических связях почвенных животных-микробофагов. Кроме того, изменения температуры и влажности обуславливают жизненные циклы почвенных животных и их поведение.

Многочисленные работы отечественных и зарубежных экспертов доказывают важную роль гуминовых веществ (рисунок 1) в поддержании гомеостаза экосистем [5–7]. Уникальность биополимеров гуминового происхождения, особенности структурной организации, биологической активности, форм нахождения в природе определяют их глобальную роль в сохранении гомеостаза почвенных сообществ. Основной формой органического вещества гумуса являются растворимые соединения, выполняющие функцию буферной системы, которая отвечает за накопление и биодоступность органических и неорганических веществ для растительных и животных организмов.

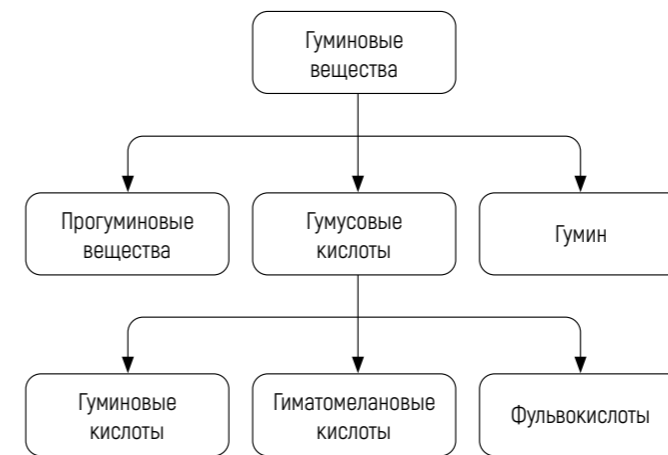
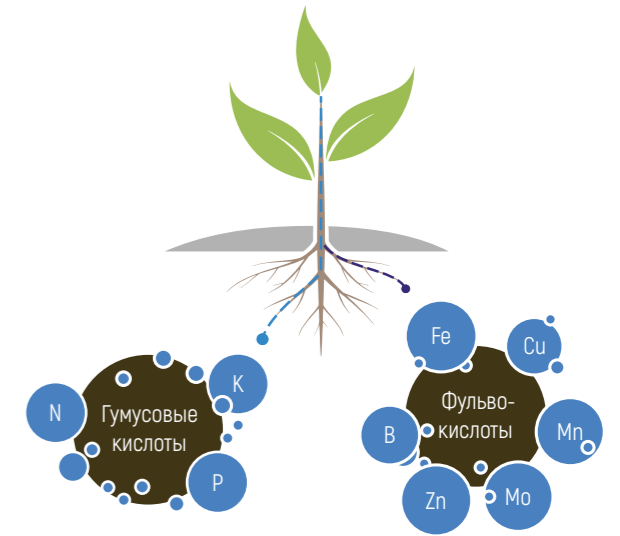
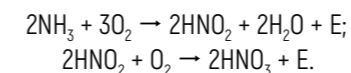


Рисунок 1 – Классификация гуминовых веществ



Кроме того, гуминовые кислоты образуют хелаты с макроэлементами [8]. Высокая подвижность и реакционная способность фульвокислот обеспечивают взаимодействие с микроэлементами (в основном с металлами и их ионами), в результате чего образовавшиеся хелаты данных кислот доставляют в растения необходимые микроэлементы.

Биогенный круговорот веществ и химических элементов между почвой, растениями, животными и микроорганизмами поддерживает баланс экосистемы и обусловлен климатом, особенностями рельефа, типом местопроизрастания культур, онтогенезом. Об успешности циклов углерода и азота можно сделать выводы на основании исследования динамики газового состава экосистемы и анализа почв на микроэлементный состав (колебания  $CO_2$  в пределах 350–1000 ppm;  $N_2O$  – 300–400 ppb;  $CH_4$  – 2000–3000 ppb). Следует также учитывать тесную связь круговорота кислорода с углеродным и азотным циклами. Кислород используется бактериями в следующих реакциях нитрификации [9]:



## Влияние автотрофов на формирование экосистем

Автотрофы – основные организмы-продуценты, синтезирующие органические вещества, используя энергию света.

Их численность и разнообразие должны быть максимально возможными в экосистеме. Расчёт необходимого количества автотрофов проводится в зависимости от потоков потребления энергии в экосистеме, а также от объёма и интенсивности метаболизма консументов.

Растения являются базой, которая обуславливает подбор компонентов животного сообщества (почвенных микроорганизмов и животных-консументов). Количество особей популяций животных и растений в замкнутых экосистемах находится в динамике (в успешной экосистеме эти колебания будут минимальными), и главной задачей становится контроль их числа в заданных допустимых границах. Диапазон колебаний зависит от рождаемости и смертности, плотности, структуры и динамики популяции. Кроме того, для управления численностью стоит учитывать внутривидовые и межвидовые взаимодействия организмов (конкуренция, хищничество, симбиоз), а также выживаемость, возрастную структуру и тип роста популяции. Графически они принимают вид равномерно увеличивающейся прямой (естественный рост количества особей) с резкими спадами (большая смертность в момент достижения предельного возраста) и последующим равномерным нарастанием. Такой период заканчивается выходом на плато устойчивости.

В замкнутых экосистемах, имеющих сложную структуру и функционирующих в стабильных условиях среды, регуляция численности осуществляется в основном внутренними механизмами, т. е. факторами, в первую очередь зависящими от плотности популяции.

При подборе климата стоит учитывать назначение замкнутой экосистемы. Для комфортного сбалансированного существования большого количества видов, обеспечивающих её устойчивое состояние, следует рассматривать субтропический или субэкваториальный климат, так как именно в этих областях наблюдается наибольшее биоразнообразие, и они хорошо подходят для человека. Таким образом, абиотические факторы в закрытой экосистеме можно регулировать, поддерживая температуру в летний период на уровне 21–25 °С, в зимний период – 15–18 °С, влажность в диапазоне 60–85 %. Эти параметры, как и освещённость, силу ветра, гидрологический режим, необходимо контролировать и варьировать в зависимости от нужд экосистемы – до наступления состояния устойчивого покоя.

### Роль углеродного баланса в поддержании устойчивости замкнутой экосистемы

В естественных экосистемах углеродный баланс тесно связан с круговоротом CO<sub>2</sub> и согласованно регулируется в процессе метаболизма экосистем, когда почвенная биота подвергает минерализации отмершую биомассу (некротому). Продукты минерализации в форме газов, растворов и коллоидов используются фитоценозом в процессе фотосинтеза, осуществляемого новой биомассой. Газы поглощаются листьями, растворы – корнями, а коллоиды оседают в почвенной массе. Минеральные элементы, которые не были востребованы фитоценозом, взаимодействуют

с органическими радикалами разлагающейся некротомы, образуя под действием агрономически ценных микроорганизмов почвенный гумус – стратегический запас элементов минерального питания. Фитоценоз выделяет кислород, необходимый педоценозу для окисления отмершей биомассы, как побочный продукт процесса дыхания. Благодаря обмену отходами жизнедеятельности между растениями и почвой обеспечивается устойчивость состава воздушной среды, партнёры освобождаются от энергетических затрат на поиск и добычу питательных ресурсов. В этой взаимовыгодной кооперации заключён главный смысл объединения разнообразной биоты в общую экосистему, который требуется учитывать при создании аналога природного биогеоценоза.

Для практического изучения описанных процессов с целью последующего построения замкнутых систем большого объёма (например, ЭКД на орбите планеты Земля [10]) в октябре 2021 г. авторами создана замкнутая экосистема с авто- и гетеротрофными сообществами (рисунок 2).

Субстратом замкнутой экосистемы выбран космогрунт – облепённый плодородный почвогрунт и Terra, разработанный ЗАО «Струнные технологии» в ходе проведения научных исследований в 2019–2022 гг. Для сбора конденсированной влаги добавлены предварительно простерилизованные камни. В субстрат внесены почвенные водоросли, азотфиксирующие бактерии и мох кукушкин лён. В качестве основного продуцента взят низкорослый клевер ползучий. Такой выбор обусловлен тем, что клевер является важной промышленной бобовой культурой, а также обладает возможностью самоопыления за счёт особого расположения тычинок относительно пестика.



Рисунок 2 – Создание замкнутой экосистемы

Животное наполнение составили 10 мокриц (*Porcellio scaber* Latreille) и 10 красных калифорнийских червей (*Eisenia fetida*). Для повышения биодоступности неорганических элементов добавлено 5 мл гуминовых веществ (содержание гуминовых кислот – 20 %).

Абиотические параметры для замкнутой экосистемы выбраны с точки зрения комфорта населяющих её организмов (схожие условия планируется создать в ЭКД [11]): температура воздуха 21–25 °С, влажность от 60 %, световой день 14 ч, уровень освещения в пределах 200–300 мкмоль/с/м<sup>2</sup>. Контроль температуры и влажности внутри и снаружи экосистемы выполнялся двумя термогигрометрами. Для возможности терморегуляции внутри экосистемы в крышку была герметично установлена пластина из теплопроводного металла (алюминий). Уровень освещённости контролировался квантометром Skye (диапазон световых волн 400–700 нм, погрешность измерения максимум 1 %). Концентрация CO<sub>2</sub> измерялась через герметично установленные в крышку трубки (рисунок 3), к которым подключался газоанализатор.

Воздух из замкнутой экосистемы герметично поступал в недисперсионный инфракрасный газоанализатор LI-COR LI-820 (диапазон измерений 0–20 000 ppm, максимальная



Рисунок 3 – Измерение концентрации CO<sub>2</sub> в замкнутой экосистеме

погрешность 3 %) и также герметично возвращался в экосистему. Концентрация CO<sub>2</sub> регистрировалась каждые 5 с, измерения проводились при поддержании температуры и уровня освещения в определённом для ЭКД диапазоне. Так как образование углекислого газа на начальных стадиях существования экосистемы должно быть значительно больше его потребления, между измерениями скорости эмиссии CO<sub>2</sub> организовывалось проветривание.

В самом начале исследования эмиссия CO<sub>2</sub> (рисунок 4) отличалась высокой скоростью (7876 ppm/h), что объясняется отсутствием необходимого количества растений как основного потребителя углекислого газа.

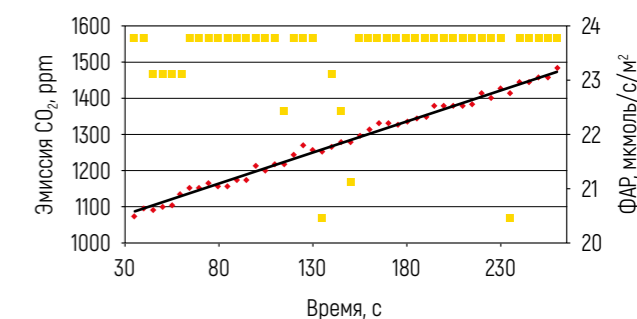


Рисунок 4 – Скорость потока CO<sub>2</sub> (обозначено красным) и фотосинтетически активной радиации (ФАР) (обозначено жёлтым), 11 октября 2021 г.

По мере роста культур скорость потока CO<sub>2</sub> закономерно снижалась до 6216 ppm/h в ноябре и 6339 ppm/h в декабре 2021 г. Несмотря на такое уменьшение, она значительна и в несколько раз превышает естественные показатели. Начиная с января 2022 г. скорость потока углекислого газа стабилизировалась (рисунок 5) и составила 1732 ppm/h в январе и 1712 ppm/h в феврале.

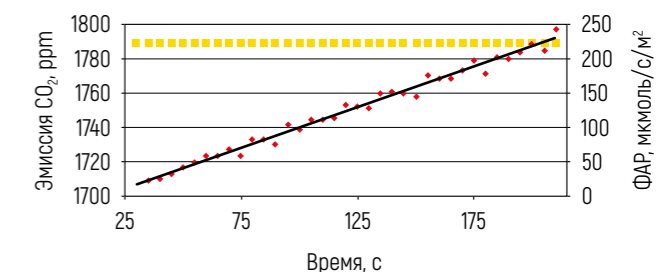


Рисунок 5 – Скорость потока CO<sub>2</sub> (обозначено красным) и ФАР (обозначено жёлтым), 7 февраля 2022 г.

В марте продолжилось снижение скорости эмиссии  $\text{CO}_2$  (до 1321 ppm/h), однако выхода концентрации углекислого газа на равновесное плато не наблюдалось до апреля (рисунок 6).

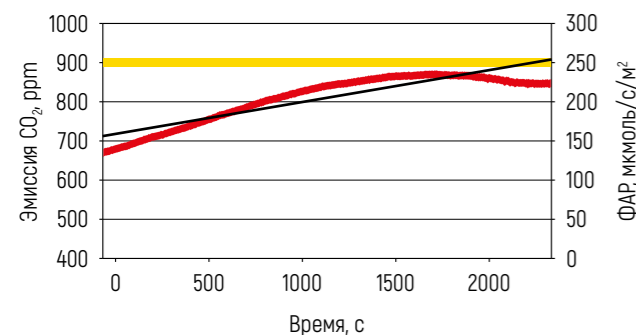


Рисунок 6 – Скорость потока  $\text{CO}_2$  (обозначено красным) и ФАР (обозначено жёлтым), 11 апреля 2022 г.

Сравнительно небольшая скорость эмиссии в апреле (289 ppm/h) впервые сменилась поглощением  $\text{CO}_2$  (рисунок 7) в июне (-293 ppm/h).

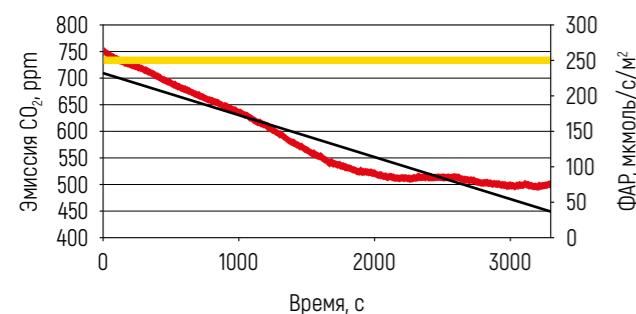


Рисунок 7 – Скорость потока  $\text{CO}_2$  (обозначено красным) и ФАР (обозначено жёлтым), 13 июня 2022 г.

## Выводы и дальнейшие направления исследования

За время существования замкнутой экосистемы её газовый состав претерпел значительные изменения и относительно стабилизировался через шесть месяцев. В данный момент она находится в состоянии равновесия по скорости эмиссии и потребления  $\text{CO}_2$ .

Населяющие экосистему моксицы и черви выжили, однако по причине небольшого объёма среды для их существования произошла межвидовая конкуренция, в которой доминируют моксицы, что выражается в их постоянной большой численности (около 60) и постепенном снижении количества червей. Несмотря на благоприятную среду для развития мха, отмечено, что повышенное количество моксиц угнетает его рост. Выбранные абиотические условия подходят для проводимого исследования и удовлетворяют все нужды населяющей экосистемы биоты.

В ходе эксперимента установлены сроки достижения газового баланса  $\text{CO}_2$  в определённом объёме при контролируемых условиях (с поддержанием жизнедеятельности всех компонентов экосистемы), что практически образом подтверждает правильность выбора абиотических параметров и делает возможным прогнозирование периодов биологического наполнения ЭКД.

Моксицы и черви выживают при крайне высоких концентрациях углекислого газа на начальных этапах исследования. Показания динамики  $\text{CO}_2$  на всех стадиях роста клевера ползучего позволяют вести учёт и контроль этого жизненно важного показателя в любой момент, не прибегая к постоянным измерениям. Выявлен вектор межвидового взаимодействия (моксиц и червей) в конкретных условиях, благодаря чему имеется возможность определить необходимую численность данных видов, ключевых для благополучия почвы.

Эксперимент планируется продолжить; в перспективе ожидается смещение установившегося баланса в период появления новых растений клевера ползучего.

## Литература

1. 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.
2. Van Meerbeek, K. Unifying the Concepts of Stability and Resilience in Ecology / K. Van Meerbeek, T. Jucker, J.-C. Svenning // Journal of Ecology. – 2021. – Vol. 109, No. 9. – P. 3114–3132.
3. Holling, C.S. Resilience and Stability of Ecological Systems / C.S. Holling // Annual Review of Ecology and Systematics. – 1973. – Vol. 4. – P. 1–23.
4. Смирнова, О.В. Сукцессия и климакс как экосистемный процесс / О.В. Смирнова, Н.А. Торопова // Успехи современной биологии. – 2008. – Т. 128, № 2. – С. 129–144.

5. Гуминовые вещества как регуляторы экологического гомеостаза / Н.П. Аввакумова [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18, № 2 [2]. – С. 267–271.
6. Попова, Н.В. Методы использования данных по скорости освобождения химических элементов из подстилки для диагностики устойчивости экосистем / Н.В. Попова // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2007. – № 1. – С. 19–26.
7. Humic Substances: Structure, Function and Benefits for Agro-Ecosystem: A Review / J. Tiwari [et al.] // Pedosphere. – 2022.
8. Ларионов, Ю.С. Роль углерода и круговороты на его основе как предпосылки совершенствования системы мониторинга плодородия почв / Ю.С. Ларионов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. – 2019. – Т. 4, № 2. – С. 124–134.
9. Microbial Ecology of the Closed Artificial Ecosystem MELiSSA (Micro-Ecological Life Support System Alternative): Reinventing and Compartmentalizing the Earth's Food

and Oxygen Regeneration System for Long-Haul Space Exploration Missions / L. Hendrickx [et al.] // Research in Microbiology. – 2006. – Vol. 157, No. 1. – P. 77–86.

10. Обзор возможных конструктивных решений объекта «ЭкоКосмоДом» на планете Земля / А.Э. Юницкий [и др.] // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 169–177.
11. Юницкий, А.Э. ЭкоКосмоДом как пространство для сохранения видового разнообразия тропической и субтропической флоры / А.Э. Юницкий, В.К. Павловский, Д.В. Феофанов // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 153–157.



# Выращивание мицелия базидиальных грибов на органических субстратах в условиях замкнутой экосистемы

Буглак П.А.

Заяц В.С.

Налетов И.В.

ЗАО «Струнные технологии»,  
г. Минск, Беларусь



Представлена технология выращивания грибов в условиях замкнутой экосистемы. Рассмотрены варианты применения органических субстратов, полученных в результате ведения растениеводства, для культивирования съедобных базидиальных грибов: вешенки обыкновенной (*Pleurotus ostreatus*), рейши (*Ganoderma lucidum*), шиитаке (*Lentinus edodes*), ежевика гребенчатого (*Hericium erinaceus*). Особенность исследования заключается в изучении образования примордиев на субстратах из растительного сырья. Получены практические данные, свидетельствующие о потенциале выращивания плодовых тел грибов на таких субстратах. Предложено использовать блоки с мицелием грибов после их культивирования для кормления сельскохозяйственных животных в ЭкоКосмоДоме (ЭКД).

*Ключевые слова:* базидиальные грибы, возобновляемые ресурсы, замкнутая экосистема, растительные субстраты, ЭкоКосмоДом (ЭКД).

УДК 635.8





## Введение

Мировое производство съедобных грибов составляет около 34 млн тонн в год, и в течение 20 последних лет ежегодно его объём увеличивается на 13–18 %. Известный специалист в области культивирования грибов профессор С.Т. Ченг полагает, что в XXI в. вследствие интенсивного развития производства съедобных грибов и продуктов из них произойдёт «незелёная революция» (более 70 % растительных остатков, которые обычно не используются в других отраслях промышленности, могут быть переработаны грибами в лекарственные вещества и продукты питания) [1].

При планировании существования людей в замкнутой среде следует учитывать, что продовольствие должно быть доступно, выращено и изготовлено посредством возобновляемых источников экосистемы. Жизнь в ЭкоКосмоДоме (ЭКД) рассматривается как пример бесконечно долгого нахождения человека в закрытой среде [2, 3]. Здесь будет создана природная сбалансированная экосистема, для которой характерно наличие субтропического климата, разнообразной растительности, а также животного мира. Соответственно, становится актуальным изучение возможности выращивания грибов в данной среде.

Тип субстрата является одним из важнейших факторов продуктивного культивирования базидиальных грибов,

поскольку растворимые неорганические и органические вещества, входящие в его состав, поглощаются грибами для развития плодовых тел [4]. Хороший субстрат должен содержать достаточное количество азота (например, за счёт добавления азотных добавок) и углеводов для поддержания и ускорения роста [1]. Учитывая, что для культивирования грибов подходит множество различных видов субстрата, есть возможность использовать в этом процессе имеющиеся растительные отходы.

Согласно [5] применение опилок многих видов деревьев в качестве субстрата приводит к формированию неоднородного низкоплотного мицелия, что замедляет развитие плодовых тел грибов. Это может быть связано с низким содержанием белка, которого недостаточно для поддержания роста. Следовательно, обычно выбирают иные богатые лигноцеллюлозой материалы [5]: хлопковые отходы, рисовую солому, ветки фруктовых деревьев, бумажные отходы [6]. Субстратами также могут быть пальмовые шишки, початки кукурузы, жом сахарного тростника [7, 8], лузга подсолнечника, картон и растительное волокно, листья лесного ореха и липы, солома пшеницы. Последняя представляет собой лигноцеллюлозный материал [9], богатый целлюлозой, гемицеллюлозой и лигнином, поставляет питательные вещества для развития мицелия и плодоношения

грибов, демонстрирует самую высокую биологическую эффективность.

При выборе субстрата следует учитывать несколько наиболее важных параметров:

- поддержание влажности нужно для роста как мицелия, так и плодовых тел. Низкое количество влаги не позволяет питательным веществам транспортироваться в клетки мицелия, в то время как избыточная влага будет способствовать его закупорке, препятствуя испарению воды. Средняя влажность, которая должна поддерживаться в субстрате, – 65–80 % [10];
- подбор соответствующего показателя pH требуется для развития мицелия и плодовых тел, поскольку как низкие, так и высокие значения ингибируют рост и развитие. Оптимален pH 5–6,5 для мицелия и pH 6,5–7 для формирования плодовых тел [1];
- углерод и азот необходимы для питания грибов в определённой концентрации. Так, подходящее соотношение C : N для выращивания вешенки обыкновенной колеблется в пределах (19–22) : 1 [11]. Высокие концентрации азота вызывают разрушение лигнина и, как следствие, приводят к предотвращению развития мицелия. Кроме того, не дают возможности сформировать плодовые тела у большинства видов базидиальных грибов [12].

Цель работы – исследование различных видов растительного сырья для использования в качестве субстрата при культивировании различных видов базидиальных грибов.

## Материалы и методы эксперимента

Для постановки эксперимента по выращиванию вешенки обыкновенной (*Pleurotus ostreatus*), рейши (*Ganoderma lucidum*), шиитаке (*Lentinus edodes*) и ежовика гребенчатого (*Hericium erinaceus*) были выбраны следующие виды отходов растительного сырья: лиственной опад берёзы, солома пшеницы мягкой, опилки ольхи обыкновенной и дуба черешчатого.

Технология приготовления субстрата:

- 1) субстрат замачивали в горячей воде (92–95 °С) в течение 20 мин для лучшего увлажнения;
- 2) субстрат запаковывали в специальные полипропиленовые пакеты с фильтром и стерилизовали при температуре 121 °С на протяжении 35 мин;
- 3) на следующие сутки остывший субстрат инокулировали чистым мицелием базидиального гриба, соблюдая асептические условия;

4) субстратный пакет герметично запаивали в стерильном боксе и переносили в помещение, в котором были установлены необходимые параметры окружающей среды.

Для проведения эксперимента заранее были подготовлены чистые культуры базидиальных грибов, полученные на зерновом субстрате в отдельных ёмкостях для исключения заражения готового растительного субстрата другими видами микроорганизмов. Зерновой субстрат для культивирования мицелия ополаскивали водой с целью удаления пыли, затем замачивали в горячей воде (92–95 °С) в течение 15 мин для набухания и создания для микроорганизмов благоприятной среды, позволяющей бактериальным формам со спорами пробудиться, что повышает значимость автоклавирования таких субстратов. Влажное зерно помещали в ёмкости объёмом 50 мл, плотно закрывали крышками и автоклавировали при стандартных условиях (121 °С, 20 мин). Зерновые субстраты инокулировали базидиальными грибами в стерильной среде.

Субстратные пакеты изготавливали из автоклавируемых полипропиленовых пакетов с помощью ручного запайщика. В верхней части проделывали иглами несколько отверстий, накрывали фильтром и припаивали его. Фильтр необходим для газообмена в субстратном пакете и поддержания стерильности и достаточной влажности в начале процесса выращивания мицелия гриба.

Культивирование проводили в отдельном вентилируемом помещении, в котором поддерживалась относительная влажность в диапазоне 75–85 % и температура 18 °С.

В ходе эксперимента определяли скорость заражения субстрата мицелием, видимую площадь заражения, а также характеристики субстрата (содержание целлюлозы и лигнина).

## Результаты эксперимента

В ходе эксперимента отмечено, что такие базидиальные грибы, как вешенка обыкновенная и ежовик гребенчатый, лучше всего культивировались на субстрате из опавшей листвы берёзы. Данные виды быстрее адаптировались к новой среде и активнее потребляли питательные вещества для развития мицелия. На субстрате из листового опада берёзы, заражённом ежовиком гребенчатым, появились примордии, а у вешенки обыкновенной началось формирование плодовых тел. Субстрат из соломы пшеницы также показал хороший результат: образовались примордии вешенки обыкновенной.

На рисунке 1 представлены мицелии базидиальных грибов на субстрате из опада листьев берёзы. Заметно, что прирост мицелия рейши (рисунок 1в) на 30 % меньше, чем у других видов, участвующих в эксперименте. На субстрате из соломы пшеницы рост был аналогичным. Такой материал широко применяется при культивировании грибов ввиду быстрого развития мицелия на нём. Субстрат из опилок ольхи и дуба менее захвачен мицелием (по сравнению с листовым опадом – на 20–40 %). Предположительно, особенности данного типа субстрата обусловлены наличием полифенольных веществ – танинов, которые ингибируют рост мицелия. Однако в связи с небольшим разнообразием деревьев в замкнутой системе ЭКД следует рассмотреть все субстраты. Можно пренебречь скоростью роста мицелия и плодовитых тел при необходимости использовать вторично продукты жизнедеятельности, образуемые компонентами экосистемы.

Показатели скорости роста мицелия и покрытия им субстрата представлены на рисунке 2.

Наибольший процент покрытия и наименьшее время зарастания мицелием у всех видов грибов зафиксированы на субстратах из листьев и соломы, что связано с простым составом сырья для разложения ферментами грибов.

Отметим, что образование примордиев происходит только на субстрате из листьев и соломы для вешенки и на листовом опаде для ежевика. Вероятно, такой результат обусловлен синтезом лигноцеллюлолитических и гидролитических ферментов. Марганец-зависимая пероксидаза – один из основных лигниноразрушающих ферментов – обнаружена у вешенки обыкновенной. Это способствует более быстрому зарастанию субстрата мицелием, и вешенка быстрее, чем остальные грибы, даёт примордии, а в последующем – плодовые тела.

Процентное содержание целлюлозы и лигнина в субстратах, полученное по азотно-спиртовому методу [13], представлено в таблице.



Рисунок 1 – Культивирование базидиальных грибов на субстрате из листового опада берёзы: а – ежевик гребенчатый; б – вешенка обыкновенная; в – рейши; г – шиитаке

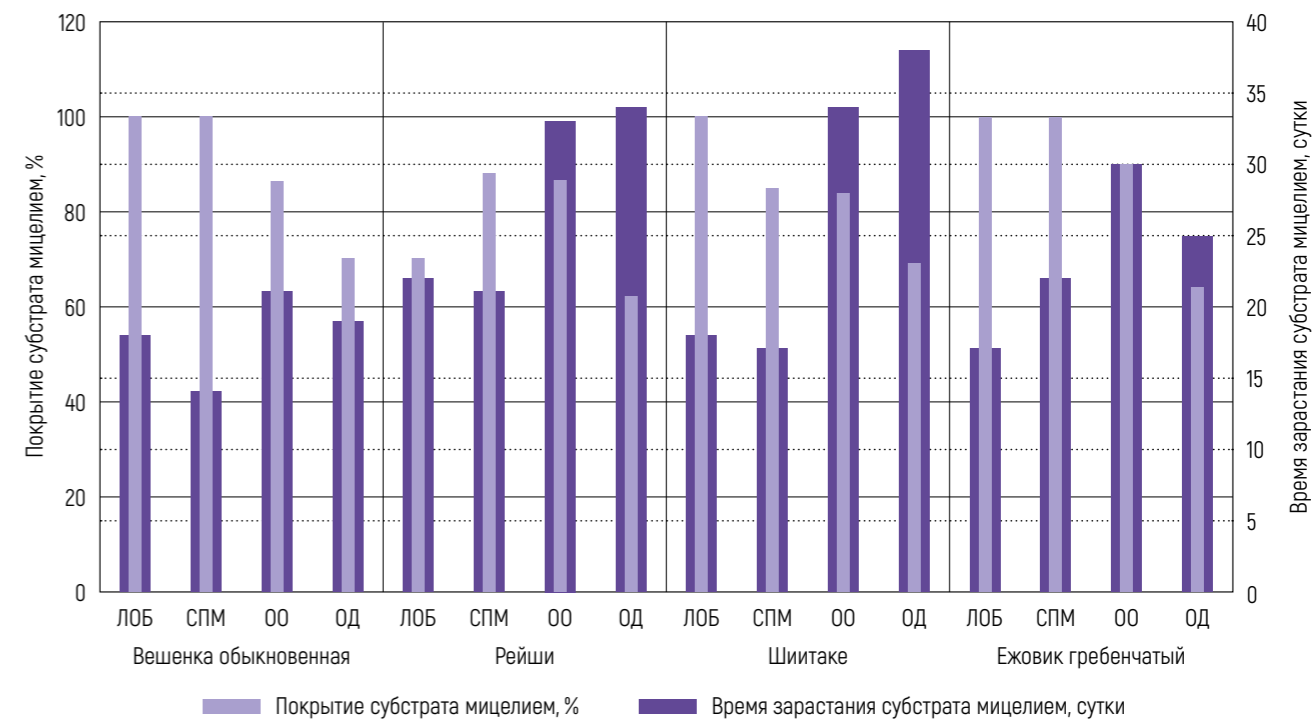


Рисунок 2 – Рост и развитие мицелия на различных субстратах: ЛОБ – листовая опад берёзы; СПМ – солома пшеницы мягкой; ОО – опилки ольхи; ОД – опилки дуба

Таблица – Содержание целлюлозы и лигнина в субстрате до и после культивирования грибов

Гриб	Субстрат	Содержание целлюлозы, %		Содержание лигнина, %	
		до культивирования	после культивирования	до культивирования	после культивирования
Вешенка	ЛОБ	48,87	14,5	21,77	15,61
	СПМ	48,02	11,4	21,5	14,22
	ОО	58,77	9,1	26,11	19,48
	ОД	60,04	20,4	28,87	20,12
Рейши	ЛОБ	48,87	18,66	21,77	17,28
	СПМ	48,02	22,81	21,5	17,36
	ОО	58,77	27,55	26,11	19,46
	ОД	60,04	20,37	28,87	22,81
Шиитаке	ЛОБ	48,87	25,78	21,77	18,62
	СПМ	48,02	22,55	21,5	17,13
	ОО	58,77	49,59	26,11	21,72
	ОД	60,04	52,81	28,87	23,65
Ежевик гребенчатый	ЛОБ	48,87	22,41	21,77	11,79
	СПМ	48,02	22,89	21,5	11,64
	ОО	58,77	45,73	26,11	22,16
	ОД	60,04	52,79	28,87	26,36

Из таблицы видно, что в опилках ольхи и дуба содержится наибольшее количество целлюлозы и лигнина: 58,77 % и 26,11 % для ольхи, 60,04 % и 28,87 % для дуба соответственно. Данные вещества в результате частичного их разрушения являются компонентами для питания гриба в качестве источника углерода и энергии. Однако биодоступность этих соединений для целлюлозолитических и лигнолитических ферментов хуже, чем у соломы и листового опада, поэтому такие субстраты зарастают медленнее, но могут использоваться дольше.

На рисунке 3 представлен внешний вид вешенки обыкновенной на субстрате из листового опада берёзы. Образование плодовых тел свидетельствует о наличии всех необходимых доступных компонентов для роста мицелия.

В рамках ЭКД будет произрастать большое количество плодовых деревьев, поэтому возможно применение их опилок. Следует отметить, что древесина яблони, абрикоса и груши высоко ценится благодаря повышенному содержанию гемицеллюлозы и других полисахаридов.

Отработанные блоки субстрата могут использоваться как кормовая добавка в основной рацион сельскохозяйственных животных, выращиваемых в ЭКД. Данный подход оправдан, поскольку твёрдые субстраты, заражённые мицелием базидиальных грибов, имеют богатую питательную ценность из-за высокого содержания белков, аминокислот, ферментов и витаминов, необходимых

для правильного развития организма животных. Согласно научным источникам применение отработанных субстратов с мицелием вешенки обыкновенной в кормопроизводстве для молодняка крупного рогатого скота улучшает усвояемость грубых растительных кормов и показатели крови животных (истинный белок увеличивается в 7,1–11,3 раза). Внесение такой добавки позволит также снизить затраты на корм [14].

### Выводы и дальнейшие направления исследования

Из всех выбранных субстратов наилучшее развитие базидиальных грибов наблюдалось на листовом опаде берёзы и соломе пшеницы мягкой. Опилки дуба и ольхи обладают недостаточными фунгицидными свойствами и влажностью, требуют более тщательной обработки.

Одной из причин низкой скорости зарастания субстрата на основе опилок может служить высокое процентное содержание сложных компонентов в составе древесины (лигнин и целлюлоза). Лигнин не является основным источником углерода и энергии при развитии базидиального гриба, однако при недостатке углерода, азота или серы он способен к частичному разложению. Повышенное содержание лигнина и целлюлозы в субстрате придаёт плотную структуру

плодовому телу гриба, но при избытке лигнина мицелий гриба плохо адаптируется к субстрату и требуется длительное культивирование для расщепления высокомолекулярных компонентов.

В ходе эксперимента выявлено, что на субстрате из листового опада берёзы помимо формирования плотного мицелия началось развитие плодовых тел вешенки обыкновенной. Большое количество образованных примордиев ограничивало рост плодовых тел, причиной чего могли стать недостаточность потоков воздуха и несбалансированный состав субстрата. Однако наличие формирующихся плодовых тел говорит о возможности корректировки состава для выращивания грибов на таком дешёвом и доступном субстрате. Результативность плодоношения на субстрате из опада листьев берёзы, вероятно, связана с тем, что соотношение С : N в составе листьев и общее содержание азота являются оптимальными.

Основываясь на полученных данных, в ЭКД, как и в других замкнутых экосистемах, можно успешно использовать вторичное растительное сырьё (листовой опад, солома, опилки) в качестве субстратов для выращивания базидиальных грибов.

В дальнейшем планируется провести исследования, по итогам которых будет сделан вывод о возможности получения плодовых тел базидиальных грибов на других видах растительного сырья. Кроме того, будут рассмотрены варианты совершенствования методики подготовки растительных субстратов, предусматривающей универсальные действия для любого органического сырья.

### Литература

1. Chang, S.T. *Mushrooms: Cultivation, Nutritional Value, Medicinal Effect, and Environmental Impact* / S.T. Chang, P.G. Miles. – Boca Raton [etc.]: CRC Press, 2004. – 480 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. *Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 12 сент. 2020 г.* / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – 516 с.
4. *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. 123156.

5. *Ogundele, G.F. Effect of Pure and Mixed Substrate on Oyster Mushroom (Pleurotus ostreatus) Cultivation* / G.F. Ogundele, R.O. Abdulazeez, O.P. Bamidele // *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*. – 2014. – Vol. 2, iss. II (S). – P. 215–219.
6. *Growth and Yield Performance of Pleurotus ostreatus (Jacq. Fr.) Kumm (Oyster Mushroom) on Different Substrates* / Z. Girmay [et al.] // *AMB Express*. – 2016. – Vol. 6, No. 1.
7. *Samuel, A.A. Growth Performance and Yield of Oyster Mushroom (Pleurotus ostreatus) on Different Substrates Composition in Buea South West Cameroon* / A.A. Samuel, T.L. Eugene // *Science Journal of Biochemistry*. – 2012.
8. *Пучкова, Т.А. Влияние различных субстратов на рост мицелия и биохимический состав плодовых тел гриба Ganoderma lucidum (Curt.: Fr.) P. Karst* / Т.А. Пучкова, В.В. Трухоновец // *Биотехнологии микроорганизмов: материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 27–29 нояб. 2019 г.* / Белорус. гос. ун-т. – Минск: Экоперспектива, 2019. – С. 150–153.
9. *Obodai, M. Yield of Seven Strains of Oyster Mushrooms (Pleurotus spp.) Grown on Composted Sawdust of Triplochiton scleroxylon* / M. Obodai, L.C.B. Sawyerr, P.-N.T. Johnson // *Tropical Science*. – 2000. – Vol. 40, No. 2. – P. 95–99.
10. *Growth and Yield Performance of Oyster Mushroom on Different Substrates* / M.S. Naeem [et al.] // *Mycopath*. – 2014. – Vol. 12, No. 1. – P. 9–15.
11. *Sözbir, G.D. Lignocellulosic Wastes Used for the Cultivation of Pleurotus ostreatus Mushrooms: Effects on Productivity* / G.D. Sözbir, I. Bektas, A. Zulkadir // *Bioresources*. – 2015. – Vol. 10, No. 3. – P. 4686–4693.
12. *Yang, W. Yield and Size of Oyster Mushroom Grown on Rice/Wheat Straw Basal Substrate Supplemented with Cotton Seed Hull* / W. Yang, F. Guo, Z. Wan // *Saudi Journal of Biological Sciences*. – 2013. – Vol. 20, No. 4. – P. 333–338.
13. *Химия древесины и синтетических полимеров: лаб. практикум / сост. А.И. Ламоткин, Ж.В. Бондаренко.* – Минск: БГТУ, 2005. – 82 с.
14. *Использование отработанного соломенного субстрата после культивирования гриба вешенка обыкновенная в кормлении молодняка крупного рогатого скота* / Т.А. Пучкова [и др.] // *Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук*. – 2016. – № 4. – С. 42–47.



Рисунок 3 – Образование плодовых тел вешенки обыкновенной на субстрате из листового опада берёзы

# Перспективные составы и способы производства лёгких почвогрунтов для ЭкоКосмоДома

Юницкий А.Э.<sup>1,2</sup>,  
доктор философии транспорта

Зыль Н.С.<sup>2</sup>

Парфенчик М.М.<sup>2</sup>

Павлюченко А.М.<sup>2</sup>

Конёк Д.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО «Астроинженерные  
технологии»,  
г. Минск, Беларусь

<sup>2</sup> ЗАО «Струнные технологии»,  
г. Минск, Беларусь



Настоящая статья является продолжением исследовательского проекта по созданию лёгких «космических» почвогрунтов uTerra, разработанных ЗАО «Струнные технологии». Дано обоснование использования таких субстратов, приведены результаты экспериментов по их получению из минеральных наполнителей и органической части – гумуса, изготовленного из бурого угля и обогащённого гуминовыми кислотами и ассоциацией агрономически ценных микроорганизмов, обеспечивающих плодородие. Предложен способ промышленного производства лёгких почвогрунтов; проанализированы новые результаты заложенных ранее опытов на культурах, выращенных на рассматриваемых субстратах. Представлены рецептуры с оптимизированными минеральной и органической частями. Описаны особенности технологии культивирования растений в лёгких почвогрунтах, а также поддержания микробиологического разнообразия и стабильного состава данных субстратов в ЭкоКосмоДоме (ЭКД).

**Ключевые слова:** гумус, замкнутая экосистема, лёгкий почвогрунт, почвенные микроорганизмы, почвенный эликсир, почвогрунт, растениеводство, универсальный субстрат для растений, ЭкоКосмоДом (ЭКД).

УДК 631.427.3





## Введение

ЭкоКосмоДом (ЭКД) – инфраструктурное решение, разработанное для длительного и комфортного пребывания человека на околоземной орбите. В ЭКД планируется создать условия для долгого проживания людей и обеспечения их всем необходимым. Кроме того, для полноценного существования нужны сбалансированный рацион из здоровой органической пищи, чистый воздух, достаточная площадь для физической активности, гарантия безопасности проживания, максимально приятный микроклимат и другие составляющие здоровой среды обитания [1].

Для соблюдения всех этих требований следует разработать технологию культивирования растений в замкнутых экосистемах в целом и состав используемого почвенного субстрата в частности. От выбора почвогрунта и способа его производства во многом зависит не только качество получаемой в ЭКД растительной продукции, но и устойчивость биосистемы ЭКД, а также экономические показатели его строительства.

## Описание идеи лёгких почвогрунтов

Лёгкие почвогрунты – класс субстратов, предназначенных для культивирования растений; широко применяются в современном сельском хозяйстве благодаря ряду преимуществ (малый удельный вес, высокая аэрация корневой системы, значительная влагоёмкость, удобство использования, относительная дешевизна [2], полный набор макро-, микро- и ультрамикрорезультатов, необходимых для растений).

В состав лёгких почвогрунтов входят:

- лёгкие минеральные наполнители;
- минералы, выступающие источниками макро-, микро- и ультрамикрорезультатов;
- органическая часть, которая включает в себя гуминовые кислоты и сообщества тысяч видов агрономически ценных микроорганизмов, в том числе психрофилов (несколько видов *Pseudomonas*).

Наиболее распространённый метод выращивания сельскохозяйственных, декоративных и лекарственных растений – культивирование в твёрдом (рассыпчатом) субстрате. По количеству подвижных форм элементов, ценных для питания растений, разрабатываемые лёгкие почвогрунты не уступают более плотным аналогам. При этом к недостаткам новых субстратов можно отнести необходимость

тщательного подбора состава и его контроль, а также несколько большую стоимость, чем у почвогрунтов, полученных только из природных материалов и не проходящих дополнительную обработку [3–5].

Для ЭКД лёгкие почвогрунты должны служить основой, на которой планируется выращивать весь перечень культур, по которой станут перемещаться люди и животные и в которой будет происходить процесс переработки органических отходов агрономически ценными почвенными микроорганизмами [6, 7]. В исследованиях, посвящённых лёгким почвогрунтам, решается вопрос оптимальной организации культивирования растительной продукции на территории всей замкнутой экосистемы [8].

В таблице 1 приведена сравнительная характеристика современных технологий получения растительной продукции, указаны их сильные и слабые стороны.

Исходя из таблицы 1 и с учётом требований к субстратам, предназначенным для культивирования растений в ЭКД, наиболее оптимальной является технология, предполагающая использование лёгких почвогрунтов. Она позволяет получить органическую растительную продукцию и при этом представляет собой достаточно устойчивую систему, контроль за которой производится периодически. Вспученный перлит можно применять в течение 20 циклов вегетации растений, после чего следует добавить 10–20 % материала. При культивировании растений с коротким сроком вегетации (зеленные культуры, редис) предлагается использовать не традиционные природоподобные гидропоннику и аэропоннику, а природную гумусопоннику на базе жидкого биогумуса, разработанного ЗАО «Струнные технологии» (г. Минск, Беларусь) и Крестьянским (фермерским) хозяйством «Юницкого» (г. Марьина Горка, Беларусь). Таким образом, нет необходимости часто менять субстрат для растений, а значит, можно наладить быстрый и эффективный процесс производства растительной пищевой продукции.

## Виды лёгких почвогрунтов, используемых в настоящее время

Лёгкие почвогрунты целесообразно разделять по составу минеральной части, которая является наполнителем, обладает влагоудерживающими и структурообразующими свойствами, а также частично выступает в качестве источника макро- и микроэлементов. Существует несколько основных видов минеральных наполнителей, используемых для лёгких почвогрунтов.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика технологий культивирования растений

Показатель \ Технология	Выращивание на почве и стандартных субстратах	Выращивание на лёгких почвогрунтах	Гидропоника (выращивание без почвы)	Аэропоника (выращивание без почвы)
Возможность получения полностью органической растительной продукции	Да	Да	Да (технология в разработке)	Да (технология в разработке)
Плотность субстрата или питательного раствора, т/м <sup>3</sup>	1–1,5	0,2–0,5	Около 1	Около 1
Возможность и целесообразность выращивания кустарников и древесных культур	Да	Да	Нет	Нет
Необходимость постоянного контроля состава	Нет	Нет	Да	Да
Лёгкость замены субстрата, возможность быстрого регулирования состава питательного раствора	Нет	Нет	Да	Да

Исходя из литературных данных и результатов проведённых ранее исследований, составлена сравнительная характеристика лёгких субстратов (таблица 2).

Как видно из таблицы 2, наиболее перспективным минеральным наполнителем для приготовления лёгких почвогрунтов, предназначенных для использования в ЭКД, оказался перлит. С ним осуществлено несколько экспериментов, в ходе которых применялись различные фракции. Все проведённые опыты показали хорошие результаты, вегетация растений соответствовала норме. В качестве возможных наполнителей рассматривались и другие

варианты: вермикулит, лава, пемза, шлаки, задействованные в городском озеленении. Однако они имеют ряд недостатков: высокую стоимость, нестабильность состава, закисление или защелачивание субстрата. Перлит позволяет достичь нужного водного баланса, он используется в том числе в засушливом климате, так как способен отдавать влагу корням растений через капилляры, которые при поливе её накапливают. Процесс изготовления вспученного перлита [9] включает в себя стадию вспучивания, протекающую при температурах 900–1100 °С, что приводит к отсутствию в нём вредителей и сорняков [10].

Таблица 2 – Сравнение лёгких субстратов с различными минеральными наполнителями

Показатель \ Минеральный наполнитель	Перлит	Керамзит	Смешанный вид
Плотность, т/м <sup>3</sup>	0,15–0,4	0,2–0,6	0,3–0,5
Стабильность уровня pH	Да	Нет	Да
Результаты экспериментов по выращиванию растений	Без отличий от почвы	Показатели вегетации несколько снижены	Без отличий от почвы
Развитие почвенного биота	Наблюдается рост дождевых червей, водорослей, грибов, а также развитие почвенных микроорганизмов		

## Описание результатов исследований

В отделе биотехнологий ЗАО «Струнные технологии» проведены исследования почвогрунтов, созданных на основе перлита и содержащих различное соотношение фракций данного наполнителя. При этом количество органической части составляет до 10 % по объёму.

На рисунке 1 показаны составы и высаженные в них растения мяты. Номера колб соответствуют порядковым номерам составов грунтов, приведённых в таблице 3.



а)



б)

Рисунок 1 – Мята, выращенная с применением лёгких почвогрунтов:  
а – июль 2021 г.; б – июль 2022 г.

В данном опыте полив производился водой без добавления питательных элементов. Несмотря на это, даже при относительно небольшом количестве субстрата мята продолжала расти, с каждого варианта четыре раза за год был снят урожай лекарственной травы массой 10–20 г. За время проведения эксперимента внешний вид растений практически не изменился: несколько ярче стала листва, что говорит о хороших условиях содержания и наличии в используемых почвогрунтах достаточного количества питательных элементов.

Таблица 3 – Расширенные составы лёгких почвогрунтов

Компоненты и их объёмное соотношение	Объём почвогрунта, л	Количество органических компонентов	Плотность полученного состава, т/м <sup>3</sup>
1. Перлит 0,16–3 мм	1	Биогумус 50 г Гумус uTerra 50 г [11]	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

Отмечено, что во всех пяти составах различие в скорости вегетации растений и их внешнем виде незначительно: меньше статистической погрешности. Такой результат свидетельствует о большем влиянии на растения органической части лёгкого почвогрунта, а не его минерального состава.

На рисунке 2 представлены опытные гряды, на которых с начала 2021 г. изучаются лёгкие почвогрунты. Для данного эксперимента используются следующие составы субстратов [12] (слева направо):

- состав № 1: 90 % объёма керамзита + 5 % объёма гумуса uTerra + 5 % объёма биогумуса;
- состав № 2: 45 % объёма керамзита + 45 % объёма перлита + 5 % объёма гумуса uTerra + 5 % объёма биогумуса;
- состав № 3: 90 % объёма перлита + 5 % объёма гумуса uTerra + 5 % объёма биогумуса.



а)



б)

Рисунок 2 – Общий вид гряд с лёгкими почвогрунтами:  
а – июль 2021 г.; б – июль 2022 г.

Прирост citrusовых растений с июля 2021 г. по июль 2022 г.:

- кумкват – с 40 до 60 см (20 см);
- лимон – с 45 до 55 см (10 см);
- лайм – с 35 до 50 см (15 см);
- мандарин – с 40 до 60 см (20 см).

Средний прирост citrusовых растений за год составил 16 см.

Прирост банана с июля 2021 г. по июль 2022 г.: с 40 до 110 см (70 см).

Экспериментальные образцы, которые выращиваются с применением лёгких почвогрунтов на основе керамзита, перлита и их смеси, продолжают вегетировать. Помимо этого, в почвогрунтах в течение данного эксперимента живут земляные черви, на поверхности стекла образовался налёт почвенных водорослей и начал развиваться целлюлозоразрушающий гриб белонавозник Бирнбаума (*Leucosporinus birnbaumii*) (рисунок 3).



Рисунок 3 – Гриб белонавозник Бирнбаума (*Leucosporinus birnbaumii*) на гряде с лёгким почвогрунтом

Развитие целлюлозоразрушающего гриба указывает на наличие в субстрате запаса непереработанных растительных остатков, которые он использует для питания и в то же время разлагает. В результате этого и других подобных процессов происходит минерализация органических остатков, дополнительное образование гумуса в почве, поддержание и увеличение её плодородия.

Исходя из показателей прироста культур, можно сделать вывод, что фракционный состав в исследованном диапазоне оказывает незначительное влияние на растения.

## Варианты экономичного производства лёгких почвогрунтов

Классические почвогрунты, лёгкие и стандартной плотности, производятся согласно технологической цепочке, показанной на рисунке 4.

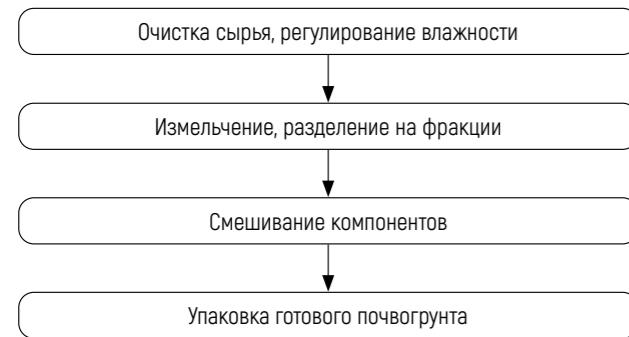


Рисунок 4 – Технологическая цепочка производства классических почвогрунтов

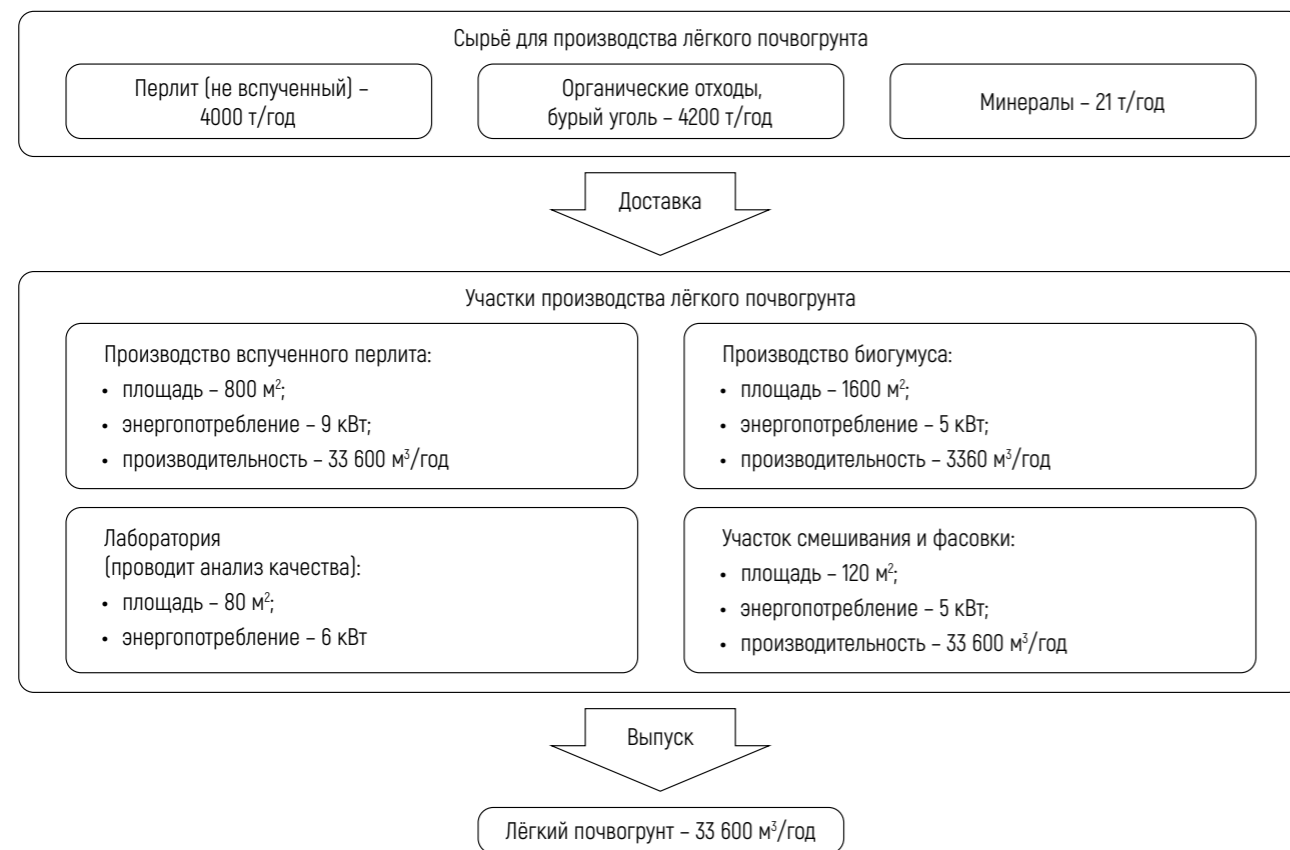


Рисунок 5 – Схема комплекса по производству лёгкого почвогрунта

Данная технологическая цепочка может видоизменяться в зависимости от того, где будет использоваться: на Земле или в космосе. В случае строительства прототипа ЭКД на нашей планете и необходимости в относительно небольших объёмах лёгких почвогрунтов могут применяться готовые решения по производству почвогрунтов, предусматривающие замену базовых составляющих (торф, песок, компост) на перлит.

Для снижения издержек при организации получения большого объёма лёгкого почвогрунта потребуется создание производства перлита и совмещённое с ним производство вермикомпоста (биогумуса), а также испытательная лаборатория. Рассмотрим необходимые площади и мощность оборудования, которые нужны для изготовления в год 33 600 м<sup>3</sup> лёгкого почвогрунта плотностью 0,3 т/м<sup>3</sup> (при трёхсменном режиме работы). Данный процесс (схематично представлен на рисунке 5) позволяет при минимальных логистических издержках получать востребованную продукцию и перерабатывать отходы животноводства и растениеводства.

На рисунке 6 изображена типовая технологическая схема производства перлита. Представленная технология предполагает не только получение вспученного перлита, но и очистку отходящих газов [13, 14].

На рисунке 7 – типовое оборудование, которое используется для производства перлита, смешивания компонентов [15]

и производства биогумуса [16]. При помощи данного оборудования можно организовать комплексную переработку сырья и непрерывное получение лёгкого почвогрунта в одной технологической цепочке.

Параметры составляющих комплекса приведены в таблице 4.

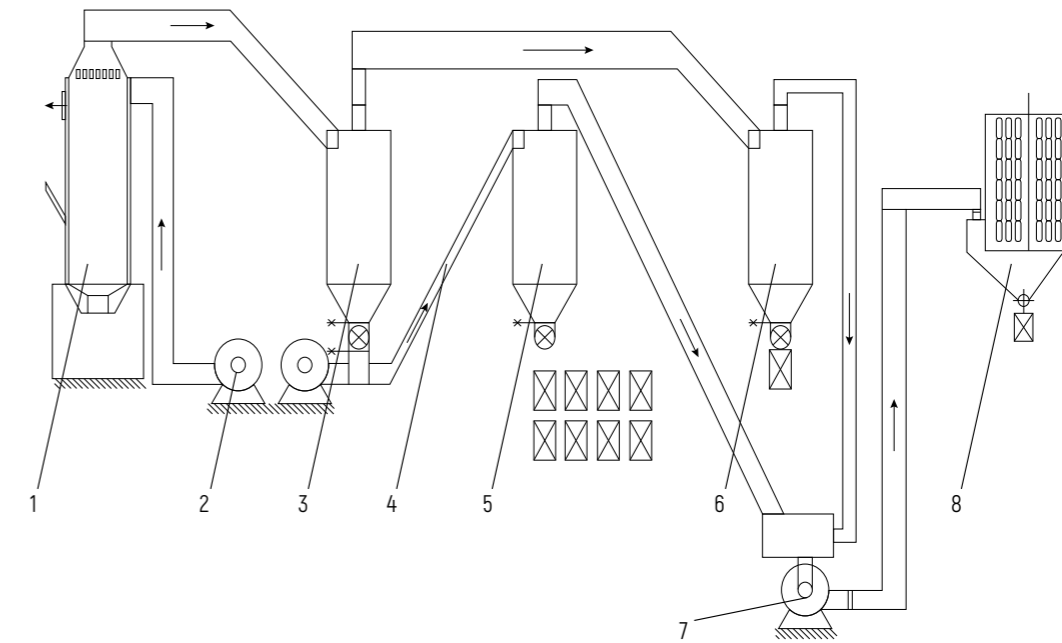


Рисунок 6 – Технологическая схема производства перлита:  
1 – шахтная печь вспучивания; 2 – вентилятор подачи воздуха; 3, 5, 6 – циклоны;  
4 – дополнительный тракт пневмотранспорта; 7 – дымосос; 8 – рукавный фильтр



Рисунок 7 – Оборудование для производства лёгких почвогрунтов:  
а – печь для производства перлита; б – смеситель с питающим бункером для получения лёгкого почвогрунта;  
в – комплекс для производства биогумуса

Таблица 4 – Параметры составляющих комплекса производства лёгкого почвогрунта

Участок	Площадь, м <sup>2</sup>	Энергопотребление, кВт	Производительность, м <sup>3</sup> /мес
Производство вспученного перлита	800	9	2800
Производство биогумуса	1600	5	280*
Участок смешивания и фасовки	120	5	2800
Лаборатория	80	6	Контроль качества
Всего	2600	25	2800**

\* Биогумус занимает пространство между гранулами вспученного перлита.

\*\* Выход готового продукта с участка смешивания и фасовки.

Общая площадь комплекса, предназначенного для производства лёгкого почвогрунта, составляет около 2600 м<sup>2</sup>, энергопотребление на основные производственные процессы – 25 кВт.

Потребление тепловой и электрической энергии на обогрев зданий, освещение и другие нужды в рассматриваемом случае не учитывалось, так как данный параметр будет существенно варьироваться от региона к региону.

Производство лёгких почвогрунтов – эффективное решение как для реализации проекта ЭКД, так и для получения субстратов, которые потребуются при озеленении крыш и культивировании растений в зданиях, где подобные грунты помогут снизить нагрузку на перекрытия. С учётом планируемого оборудования производство может быть переориентировано на изготовление различных типов почвогрунтов, продукции для сельского хозяйства и строительной сферы (вспученный перлит различных фракций).

### Производство растительной продукции и поддержание стабильности состава почвогрунтов в условиях ЭкоКосмоДома

В условиях ЭКД при культивировании растений с применением почвогрунтов [17, 18] предполагается переработка образующихся органических отходов с помощью аэробных микроорганизмов и земляных червей, а также только анаэробных микроорганизмов. Планируется, что подача растительных и других отходов в толщу лёгкого почвогрунта будет осуществляться после предварительного измельчения и отстаивания.

Для сточных вод следует использовать предварительную очистку. В таком случае в почву ЭКД (т. е. в лёгкий почвогрунт) из установки очистки будет подаваться осадок, который представляет собой активный ил – смесь из микроорганизмов, простейших, органических веществ, мелкой фракции загрязнений, минеральных компонентов [19].

При применении в ЭКД оборотной воды (техническая, сточная, конденсационная), предназначенной для полива пищевых растений, нужно, чтобы содержание в ней лактозоположительных кишечных палочек составляло менее 10<sup>4</sup> КОЕ/см<sup>3</sup> [20]; не допускается наличие патогенных микроорганизмов, жизнеспособных цист кишечных простейших, жизнеспособных яиц гельминтов. Количество макроэлементов, необходимых для питания растений (азот, фосфор, калий), должно соответствовать потреблению их растительными организмами для вегетации. С учётом полива и использования жидкого биогумуса предлагается принять следующую норму содержания питательных элементов в оборотной воде – 50 % от их выноса из почвы овощными культурами.

Остальные требования (содержание микроэлементов, тяжёлых металлов, загрязняющих веществ, а также кислотность, размер механических включений, неприятные запахи) должны определяться исходя из применяемой технологии полива сельскохозяйственных площадей. В ЭКД при последовательной очистке органических остатков может быть достигнута высокая степень очищения и максимальная нейтрализация возможных биологических загрязнений.

Соотношение количества растительной продукции и лёгкого почвогрунта для её выращивания должно обеспечивать баланс вносимых в почву макро-, микро- и ультрамикроэлементов [21]. Так как ЭКД – замкнутая экосистема,

которая функционирует непрерывно, то количество отходов (по массе) и содержащихся в них элементов питания растительных организмов должно быть соразмерно количеству выносимых растениями элементов питания. Масса полученного гумуса (при переработке органических отходов микроорганизмами и червями в почвенном слое) ориентировочно в 2–4 раза меньше [22], чем масса отходов, что стоит учитывать при проектировании технологий культивирования растений и разведения животных, а также при переработке отходов и в других процессах, связанных с круговоротом вещества в ЭКД. Немаловажным фактором является наличие некоторого буфера питательных веществ, который имеется в природной среде и необходим для компенсации возможных колебаний состава лёгкого почвогрунта.

### Выводы и дальнейшие направления исследования

Для реализации проекта ЭКД потребуется значительное количество лёгкого почвогрунта, который будет основным субстратом для производства органической растительной продукции в замкнутой экосистеме. Дополнительным методом получения биопродукции с коротким сроком вегетации выступит гумусопоника (применение жидких органических подкормок). Из минеральных материалов, используемых для создания лёгких почвогрунтов, по сумме характеристик (универсальность, плотность, доступность материала, стабильность свойств) идеально подходит перлит с фракцией 2–5 мм. Подобный размер фракции обеспечивает низкую плотность субстрата, а также его высокую влагёмкость и воздухопроницаемость. Вспученный перлит может быть частично заменён керамзитом (до 1/3 общего объёма).

Для организации в ЭКД производства лёгкого почвогрунта (полный цикл) и получения 33 600 м<sup>3</sup> в год готовой продукции потребуется площадь около 2600 м<sup>2</sup>, а также 25 кВт электрической мощности на основное оборудование (при непрерывном трёхсменном режиме работы). Данное решение способно обеспечить высокотехнологичными почвогрунтами не только ЭКД, но и здания, в которых нужно проводить озеленение на крышах и внутри помещений. Кроме того, предполагается выпуск востребованной продукции для сельского хозяйства и строительства. В процессе производства будут перерабатываться отходы животноводства и растениеводства, что послужит гарантией положительного влияния всего комплекса производства лёгкого почвогрунта на экологию.

Применение лёгких почвогрунтов в ЭКД и традиционных видов земледелия позволит постоянно, и притом с минимальными материальными и трудовыми затратами, получать качественную органическую растительную продукцию непосредственно в месте проживания людей.

В дальнейшем планируется исследовать лёгкие почвогрунты в открытом грунте, определить изменения их плотности и механических свойств в ходе нескольких циклов культивирования растений, уточнить характеристики производства и скорость разложения органических остатков в толще субстрата.

### 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. Иванов, Д.И. Изучение состава субстрата для выращивания рассады овощных культур / Д.И. Иванов, Н.Н. Иванова, А.С. Родионова // *Тенденции развития науки и образования*. – 2021. – № 73-2. – С. 138–141.
3. Перспективы использования перлита в сельском хозяйстве / М.С. Салахов [и др.] // *Современные тенденции развития науки и технологий: сб. науч. тр. по материалам III междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 30 июня 2015 г.: в 6 ч. / АПНИ; под общ. ред. Е.П. Ткачёвой*. – Белгород: ИП Ткачёва Е.П., 2015. – Ч. II. – С. 60–63.
4. Волохова, О.А. Применение перлита в сельском хозяйстве / О.А. Волохова, Н.А. Майданников // *Наука и молодёжь: сб. науч. тр. / НИМИ ДГАУ – Новочеркасск: НИМИ ДГАУ, 2016. – Вып. 3: Инновации в современном агропромышленном комплексе*. – С. 9–11.
5. Веремейчик, Л.А. Использование промышленного керамзита для производства томатов в условиях защищённого грунта / Л.А. Веремейчик, Л.С. Герасимович // *Экологические проблемы развития агроландшафтов и способы повышения их продуктивности: материалы междунар. науч. эколог. конф., Краснодар, 27–29 марта 2018 г. / Кубан. ГАУ; ред.: А.И. Трубилин, И.С. Белюченко; сост. Л.С. Новопольцева*. – Краснодар: Кубан. ГАУ, 2018. – С. 84–86.
6. Юницкий, А.Э. ЭкоКосмоДом как пространство для сохранения видового разнообразия тропической и субтропической флоры / А.Э. Юницкий, В.К. Павловский, Д.В. Феофанов // *Безракетная индустриализация*

- космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 153–157.
7. Nebylov, A. Stability of Closed Space Biosystems for Algae Ecology / A. Nebylov, V. Perliouk, A. Knyazhsky // 9<sup>th</sup> International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST), Istanbul, 11–14 June 2019. – IEEE, 2019. – P. 941–947.
  8. Юницкий, А.Э. Особенности проектирования жилого космического кластера «ЭкоКосмоДом» – миссия, цели, назначение / А.Э. Юницкий // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 51–57.
  9. Hydroponics as an Advanced Technique for Vegetable Production: An Overview / N. Sharma [et al.] // Journal of Soil and Water Conservation. – 2018. – Vol. 17, No. 4. – P. 364–371.
  10. Automatic Monitoring and Control System in Aeroponic Plant Agriculture / I.F. Rahmad [et al.] // 8<sup>th</sup> International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM), Pangkal, 23–24 Oct. 2020. – IEEE, 2020. – P. 1–5.
  11. Мелиорант-почвоулучшитель «Гумус UniTerra». Технические условия: ТУ ВУ 691935133.002-2019. – Введ. 19.03.2019. – Минск: Госстандарт: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2019. – 12 с.
  12. 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. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – С. 412–423.
  13. Хисамиева, М.М. Разработка предложений по совершенствованию комплекса по производству вспученного перлита / М.М. Хисамиева, В.Л. Советкин // Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве: сб. докл. I всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных с междунар. участием, Екатеринбург, 29–30 марта 2012 г. / УрФУ; под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УрФУ, 2012. – С. 147–149.
  14. Коноплич, А.Н. Теплотехнологическое оборудование и энергоснабжение завода по производству строительных материалов / А.Н. Коноплич // Актуальные проблемы энергетики: материалы 72-й науч.-техн. конф. студентов и аспирантов, Минск, 26 апр. 2016 г. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск: БНТУ, 2016. – С. 463–465.
  15. Якубов, Р.М. К вопросу снижения энергоёмкости процесса смешивания в лопастном смесителе непрерывного действия / Р.М. Якубов, А.Т. Лебедев, В.В. Очинский // Вестник АПК Ставрополя. – 2014. – № 4. – С. 92–95.
  16. Вермикомпостирование как решение экологической проблемы утилизации отходов животноводства / И.М. Суханова [и др.] // Учёные записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2015. – Т. 223, № 3. – С. 194–198.
  17. Winter Strawberry Production in Greenhouses Using Soilless Substrates: An Alternative to Methyl Bromide Soil Fumigation / A. Paranjpe [et al.] // Proceedings of the Florida State Horticultural Society. – 2003. – Vol. 116. – P. 98–105.
  18. 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.
  19. Кириллов, Н.А. Перспективы использования осадков сточных вод для повышения продуктивности малогумусных почв / Н.А. Кириллов, Н.А. Фадеева // Экологический вестник Северного Кавказа. – 2015. – Т. 11, № 1. – С. 79–83.
  20. 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.
  21. Usage of Perlite in Polluted Sandy Soils for Potato Crop / E.M. Draghici [et al.] // Revista de Chimie. – 2016. – Vol. 67, No. 11. – P. 2281–2286.
  22. Филон, В.И. Исследование природы гумусовых веществ, подверженных непосредственному воздействию минеральных удобрений / В.И. Филон // Агрехимия. – 2004. – № 8. – С. 61–65.



# Особенности заключения международного договора о реализации геокосмической программы *iSpace*

Казакевич А.П.

ЗАО «Струнные технологии»,  
г. Минск, Беларусь



Рассмотрены общие правила и нормы, касающиеся процесса составления и заключения международных договоров, их вступления в силу, и иные формальные процедуры, необходимые для придания соглашениям юридической силы. Проанализирована специфика применения указанных правил к международному договору о реализации программы *iSpace*, предполагающей индустриализацию ближнего космоса и вынесение на орбиту вредной части земной промышленности. Выделены особенности и проблемы процесса заключения данного соглашения, предложены варианты их решения.

*Ключевые слова:* международное право, международный договор, общепланетарное транспортное средство (ОТС), программа *iSpace*.

УДК 341.1/8



## Введение

На современном этапе развития человечество столкнулось со множеством экологических вызовов, основная масса которых связана с ростом производственных мощностей и, как следствие, увеличением количества загрязняющих биосферу веществ – индустриальных отходов. Многие актуальные исследования посвящены этой проблеме, однако лишь некоторые из них рассматривают её системно.

Наиболее комплексной и проработанной выглядит концепция инженера А.Э. Юницкого. В своих трудах он подчёркивает, что существует единственный выход из тупика, в который зашло современное человечество. При этом решение белорусского учёного можно назвать кардинальным, так как предлагается предоставить техносфере экологическую нишу вне биосферы, а именно вынести вредную часть промышленного производства за пределы планеты Земля [1, 2].

Следует отметить, что указанный план не может быть осуществлён с использованием ракет в связи с их высокой стоимостью, низкой транспортировочной способностью и чрезвычайно негативным влиянием на земную экологию [1]. В качестве наиболее подходящей альтернативы доставки грузов в космическое пространство для целей индустриализации предлагается общепланетарное транспортное средство (ОТС), являющееся основной структурной частью геокосмической программы uSpace [1].

Анализ, выполненный автором ранее [3], приводит к выводу, что строительство ОТС предполагает прямое и косвенное участие большого количества субъектов международных отношений, чьи права, обязанности и ответственность целесообразно определить и юридически закрепить путём заключения международного договора. Такие документы являются основой отношений между субъектами международного права, способствуют развитию международного сотрудничества в различных областях [4].

Цель заключения договора – чёткое определение прав, обязанностей и ответственности сторон. Значит, важно, чтобы документ обладал юридической силой, т. е. обязательным характером, для чего необходимо соблюдать соответствующую процедуру заключения.

В настоящей статье рассмотрен порядок заключения международного договора, описаны стадии данного процесса и проанализирована специфика применения общих правил к международному договору о реализации программы uSpace.

## Общая характеристика процесса заключения международного договора

Международный договор – результат нормотворческого процесса в международных масштабах, итоговый документ, содержащий согласования свободной воли участвующих субъектов, но в то же время это источник норм международного права, регулирующих отношения сторон путём установления их прав и обязанностей [5].

Поскольку международные договоры содержат нормы международного права и образуют правовую основу межгосударственных отношений [6], в последние годы их количество превысило 500 000 [7] и продолжает увеличиваться. Указанные документы различаются по целям, предмету регулирования, области действия, количеству участников и иным признакам, однако процедура заключения от этого не зависит и считается унифицированной. Порядок заключения международных договоров установлен главным международным актом, регулирующим рассматриваемую область, – Венской конвенцией о праве международных договоров 1969 г. (далее – Венская конвенция).

Данный документ предусматривает три стадии заключения международного договора (рисунок 1) [8].

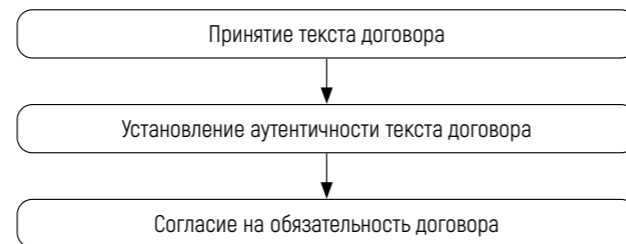


Рисунок 1 – Стадии заключения международного договора (в соответствии с Венской конвенцией)

В научной литературе помимо названных стадий обоснованно выделяют также выдвижение договорной инициативы и подготовку текста договора [9].

В рамках анализа процесса заключения международного договора о реализации программы uSpace необходимо дополнительно рассмотреть вопрос полномочий представителей субъектов международного права на заключение соответствующих соглашений. Подобный подход имеет большое значение, так как субъектами международного права, т. е. сторонами, между которыми будет заключаться договор о реализации программы uSpace, являются государства и международные организации. От их имени

всегда действует отдельный человек или группа лиц; этот представитель должен быть надлежащим образом уполномочен на выражение воли субъекта международного права, поскольку только в таком случае действия уполномоченного повлекут правовые последствия для представляемого им субъекта.

Статья 7 Венской конвенции определяет, что лицо считается представляющим государство в целях принятия текста договора или установления его аутентичности либо в целях выражения согласия государства на обязательность для него договора, если:

- оно предъявит соответствующие полномочия;
- из практики соответствующих государств или из иных обстоятельств явствует, что они намерены рассматривать такое лицо как представляющее государство для этих целей и не требовать предъявления полномочий [8].

Кроме того, вышеуказанная статья содержит список лиц, которые считаются представляющими своё государство в силу их функций без необходимости предъявления полномочий:

- главы государств, главы правительств, министры иностранных дел – в целях совершения всех актов, относящихся к заключению договора;
- главы дипломатических представительств – в целях принятия текста договора между аккредитуемым государством и государством, при котором они аккредитованы;
- представители, уполномоченные государствами представлять их на международной конференции, в международной организации или в одном из её органов, – в целях принятия текста договора на такой конференции, в такой организации или в таком органе.

При этом под полномочием понимается документ, который исходит от компетентного органа государства и посредством которого одно или несколько лиц назначаются представлять данное государство для ведения переговоров, принятия текста договора или установления его аутентичности, выражения согласия этого государства на обязательность для него договора или совершения любого другого акта, относящегося к договору (статья 2 Венской конвенции) [8].

## Стадии заключения международного договора о реализации программы uSpace

Процесс заключения международного договора включает несколько стадий. Автором настоящей статьи выбрано их расширенное видение (рисунок 2).

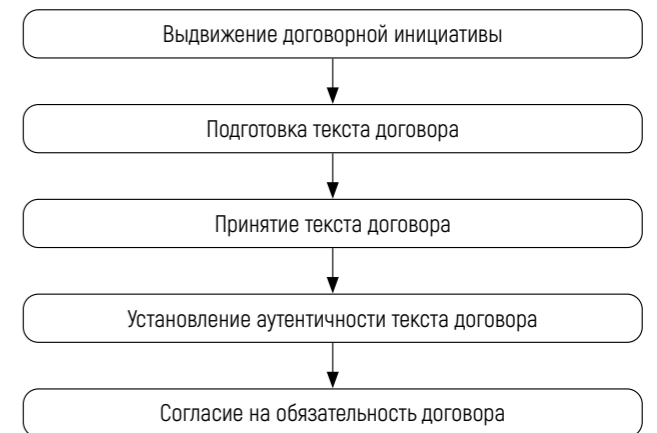


Рисунок 2 – Стадии заключения международного договора

### Выдвижение договорной инициативы

Международная договорная инициатива – это, по сути, предложение, исходящее от одного или нескольких субъектов международного права, заключить определённый договор, который будет способствовать достижению некоторой мировой или региональной цели.

Однако следует понимать, что далеко не всегда лица, имеющие право инициировать заключение международного договора, действуют по собственному убеждению. То есть существует предварительная стадия внутригосударственной или внутриорганизационной договорной инициативы, в рамках которой уполномоченным лицом государства или международной организацией вносятся рекомендации и предложения о заключении того или иного международного договора. Таким образом, инициаторами могут выступать представители науки, общественности, политические деятели и иные лица (группы, объединения, движения), но для приобретения статуса официальной международной договорной инициативы требуется одобрение и содействие руководства государства или международной организации.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод: для инициирования заключения международного договора о реализации программы uSpace необходимо заручиться поддержкой полноправного субъекта или группы субъектов международного права. При этом в качестве позитивного момента следует отметить, что в связи с глобальностью программы uSpace, её проработанностью и обоснованностью, научным и экономическим потенциалом, способностью решить многие мировые и региональные проблемы современности существует достаточное

количество субъектов, которых может заинтересовать подобная инициатива. Так, в [10] автором выделены следующие наиболее вероятные участники договора о реализации программы uSpace: 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.

### Подготовка текста договора

Подготовка текста договора – стадия заключения международного договора, на которой создаётся документ.

В международно-правовой практике используются три способа разработки и согласования документа (рисунок 3) [4].

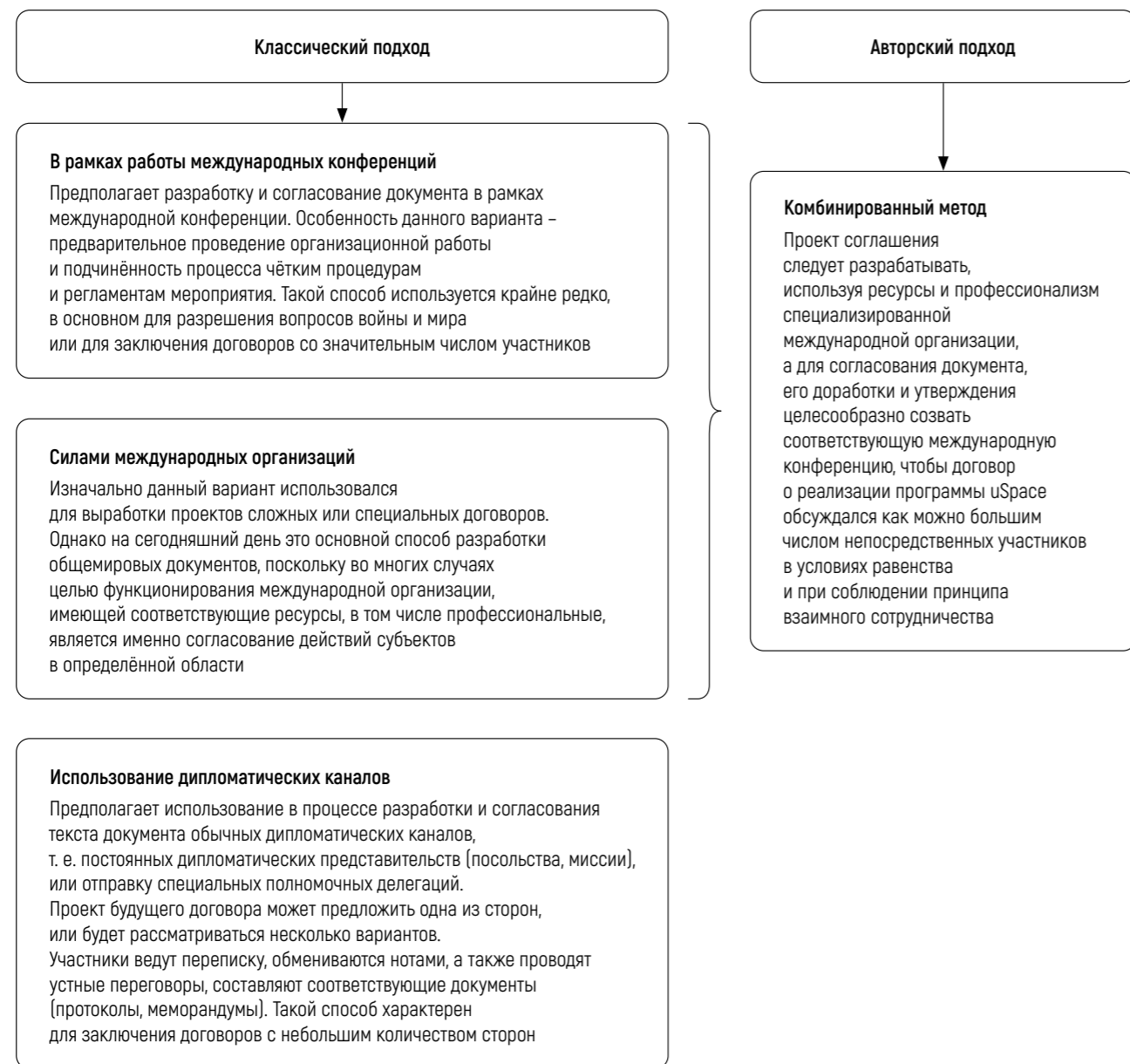


Рисунок 3 – Способы подготовки текста международного договора

Предполагается, что способ, при котором используются дипломатические каналы, не может быть применён в процессе заключения международного договора о реализации программы uSpace в связи с её глобальным масштабом, а значит, большим числом вероятных участников, в первую очередь экваториальных стран, по территории которых должна пройти взлётно-посадочная эстакада ОТС. Учитывая сложность и специфичность документа, наиболее подходящим вариантом подготовки текста договора в рассматриваемом случае видится комбинация первого и второго способов. Такой процесс будет чётко регламентирован процедурными актами мероприятия.

### Принятие текста договора

Принятие текста договора можно назвать стадией, завершающей его подготовку, однако в силу её значимости и важности принимаемого решения целесообразно рассмотреть данный этап отдельно. Международный договор окончательно согласовывается участниками разработки проекта, принимается его финальная версия по форме и содержанию. Статья 9 Венской конвенции предполагает два способа принятия текста международного договора (рисунок 4) [8].

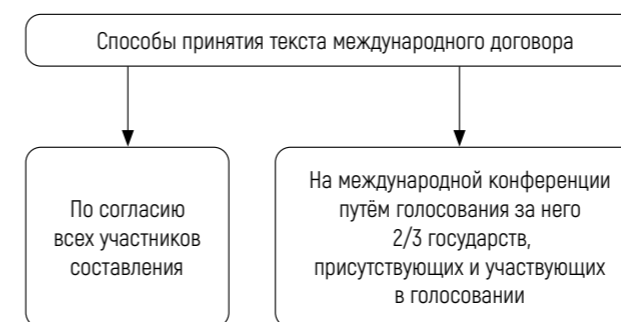


Рисунок 4 – Способы принятия текста международного договора

Как было указано выше, для обсуждения международного договора о реализации программы uSpace требуется создать международную конференцию. Именно поэтому в рассматриваемой ситуации следует воспользоваться вторым из указанных способов принятия текста договора. Стоит отметить, что идеальным вариантом видится единогласие участников, однако, учитывая нынешнюю политическую обстановку и современное состояние международного сотрудничества, этого будет крайне сложно достичь,

в связи с чем установление необходимости квалифицированного большинства в 2/3 голосов представляется целесообразным.

### Установление аутентичности текста договора

На данной стадии происходит формальное подтверждение того, что международный договор является окончательным, дальнейшее внесение поправок в него недопустимо; также устанавливается подлинность текста, в том числе на разных языках (при необходимости).

Статья 10 Венской конвенции предполагает два возможных варианта процедуры установления аутентичности текста договора:

- в результате применения процедуры, предусмотренной в самом договоре или согласованной участниками;
- путём подписания *ad referendum* или парафирования текста договора либо заключительного акта конференции, содержащего этот текст, представителями участников соглашения [8].

*Ad referendum* (лат. – под условием одобрения) означает, что договор подписывается должным образом уполномоченным на то представителем государства в предварительном порядке и нуждается в подтверждении со стороны этого государства [11].

Парафирование – форма подтверждения согласия с выработанным в результате переговоров текстом договора путём нанесения представителями сторон своих инициалов в конце текста, а иногда на каждой его странице [11].

С учётом ранее обоснованных предложений для установления аутентичности текста международного договора о реализации программы uSpace наиболее подходящими видятся способы подписания *ad referendum* или парафирования заключительного акта международной конференции, поскольку это позволит получить в дальнейшем осознанное одобрение от каждого участника.

### Согласие на обязательность договора

Выражение согласия на обязательность договора – финальный этап заключения международного договора, означающий его вступление в силу. До этого момента участники не считаются связанными обязательствами по такому документу.

Статья 11 Венской конвенции определяет следующие способы выражения согласия на обязательность договора:

- подписание;
- обмен документами;



- ратификация;
- утверждение (принятие);
- присоединение;
- любой другой способ, о котором условились участники [8].

Выражение согласия на обязательность международного договора путём подписания предполагает его вступление в силу непосредственно после проставления под его текстом подписей всех уполномоченных представителей участников.

При выражении согласия на обязательность международного договора путём обмена документами участники соглашения направляют друг другу определённые документы, например письма или ноты, которые подтверждают согласие с условиями договора и свидетельствуют о принятии субъектом на себя соответствующих прав и обязанностей.

Ратификация обоснованно считается наиболее авторитетным способом выражения согласия на обязательность международного договора, поскольку представляет собой отдельный акт высшего органа государственной власти (президент, парламент) участника соглашения, принятый по определённой процедуре в соответствии с нормами национального законодательства.

Об утверждении (принятии) как способе выражения согласия на обязательность международного договора следует говорить в двух смыслах. В первом случае речь идёт о ситуации, когда одним из участников соглашения является международная организация, для которой невозможна процедура ратификации. Тогда применяется процедура утверждения высшим органом управления такой организации в соответствии с принятыми правилами. Во втором случае издаётся акт уполномоченного государственного органа, но не высшего, и по менее строгим, чем ратификация, правилам.

Способ присоединения используется в случае, если выразить согласие на обязательность для себя международного договора желает субъект, который не принимал участия в подготовке текста документа, т. е. не находился в числе первоначального состава участников.

Принимая во внимание специфический характер программы uSpace, а также её общемировой масштаб, наиболее целесообразными способами выражения согласия на обязательность международного договора о реализации программы uSpace являются ратификация для первоначального состава участников из числа государств (утверждение – для международных организаций) и присоединение для тех субъектов, которые осознают важность

сотрудничества в будущем. Применение ратификации позволит должным образом подтвердить и закрепить намерения участника на национальном и международном уровне, в то время как возможность присоединения требуется в связи с тем, что в процессе реализации программы uSpace всё большее количество субъектов будут понимать и принимать необходимость и исключительность воплощения предложенного А.Э. Юницким решения.

## Выводы и дальнейшие направления исследования

Проведённый в настоящей статье анализ порядка заключения международного договора, стадий такого процесса и специфики применения общих правил к международному договору о реализации программы uSpace позволяет сделать следующие выводы.

Существующие сегодня и применяемые в международной практике нормы, правила и процедуры, касающиеся заключения договоров, достаточны для того, чтобы договор о реализации программы uSpace мог стать частью международного права. Однако нужно учитывать специфику рассматриваемой программы, связанную в первую очередь с общемировым масштабом, комплексностью и межатраслевым характером. В связи с этим наиболее подходящим видится определённый порядок заключения договора:

- 1) для выдвижения инициативы о заключении договора о реализации программы uSpace следует получить поддержку государства или международной организации как полноправного субъекта международного права;
- 2) разработку проекта договора необходимо поручить специалистам в различных областях в рамках деятельности специализированной международной организации;
- 3) для согласования текста договора о реализации программы uSpace, его доработки и утверждения надлежит организовать международную конференцию;
- 4) установление аутентичности текста договора следует оформить в рамках вышеуказанной конференции в её заключительном акте посредством подписания *ad referendum* или парафирования документа;
- 5) выразить согласие участников на обязательность международного договора о реализации программы uSpace необходимо путём ратификации (утверждения – для международных организаций) соглашения, предусмотрев при этом возможность присоединения новых субъектов.



При проведении дальнейшего исследования предполагается проанализировать способы обеспечения исполнения обязательств, принятых на себя участниками международного договора о реализации программы uSpace, пределы допустимого правового принуждения, а также возможные формы ответственности в случае нарушения условий рассматриваемого договора.

## 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. Юницкий, А.Э. Цивилизационная ёмкость космического дома по имени Планета Земля [Электронный ресурс] / А.Э. Юницкий. – М.: Мир науки, 2022. – 136 с. – Режим доступа: <https://izd-mn.com/PDF/08MNNPM22.pdf?ysclid=la98apfobr284127861>. – Дата доступа: 11.05.2022.
3. 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. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – С. 102–115.
4. Лукашук, И.И. Форма международных договоров: учеб.-практ. пособие / И.И. Лукашук. – М.: Спарк, 2001. – 112 с.
5. Структура международных договоров Содружества Независимых Государств [Электронный ресурс] // Интернет-портал СНГ. – Режим доступа: <https://e-cis.info/cooperation/3216/78098/>. – Дата доступа: 14.05.2022.
6. Васильева, Л.А. Международное публичное право: учеб. пособие / Л.А. Васильева, О.А. Бакиновская. – Минск: ТетраСистемс, 2010. – 576 с.
7. Виды международных договоров [Электронный ресурс] // ICC Russia. – Режим доступа: <https://iccwbo.ru/blog/2016/vidy-mezhdunarodnykh-dogovorov/>. – Дата доступа: 21.05.2022.
8. Венская конвенция о праве международных договоров [Электронный ресурс]: [заключена в г. Вене 23.05.1969] // Ilex / ООО «ЮрСпектр». – Минск, 2022.
9. Meyer, T. From Contract to Legislation: The Logic of Modern International Lawmaking / T. Meyer // Chicago Journal of International Law. – 2014. – Vol. 14 (2). – P. 559–623.
10. Казакевич, А.П. Условия договора между странами – участницами программы uSpace / А.П. Казакевич // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы IV междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 18 сент. 2021 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2022. – С. 117–123.
11. Борисов, А.Б. Большой юридический словарь / А.Б. Борисов – М.: Книжный мир, 2010. – 848 с.

# Искусственный интеллект и отчуждение человека от разума: причины, механизмы, последствия

Юницкий А.Э.<sup>1,2</sup>,  
доктор философии транспорта

Петров Е.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО «Астроинженерные  
технологии»,  
г. Минск, Беларусь

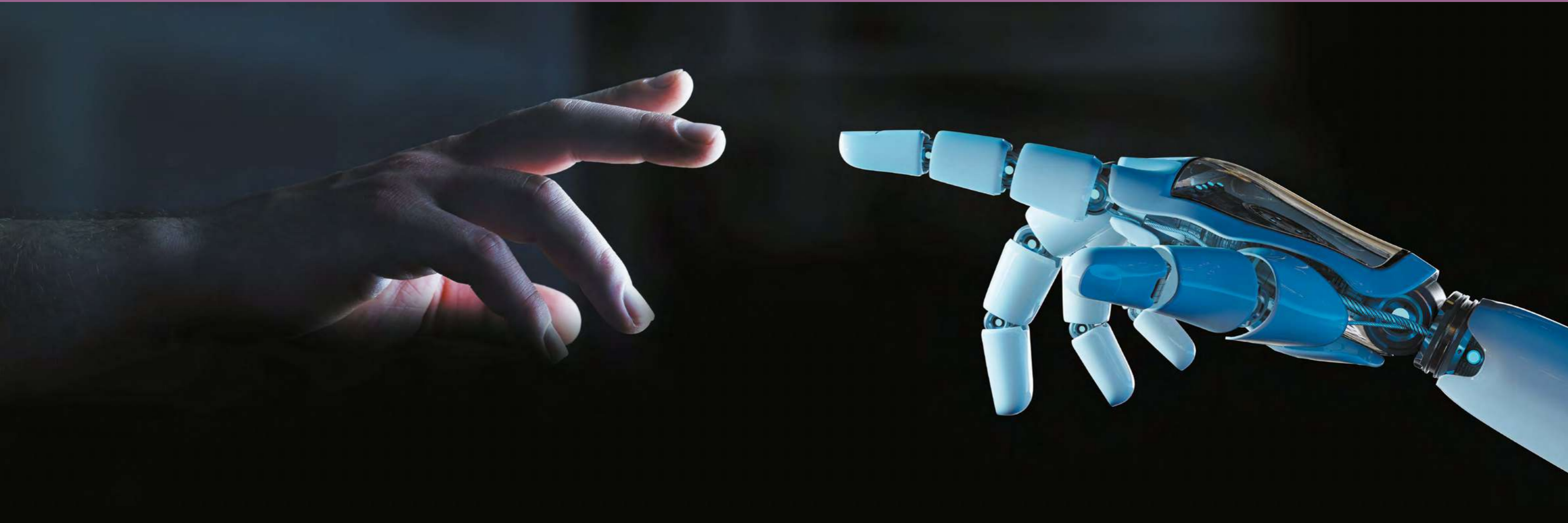
<sup>2</sup> ЗАО «Струнные технологии»,  
г. Минск, Беларусь



Рассмотрены современные тенденции, получившие развитие с внедрением в повседневную жизнь технологий искусственного интеллекта: дано описание эффекта калькулятора, парадокса цивилизованного человека; приведены статистические данные изменений эффекта Флинна за последнее столетие. Обоснована значимость создания сложной и уникальной Вселенной, в которой будет установлена иерархия соподчинения для гармоничного развития цивилизации.

***Ключевые слова:** информационный мусор, искусственный интеллект, отходы мышления, отчуждение от разума, парадокс цивилизованного человека, природное и цифровое мышление, цифровой тоталитаризм, человек цифровизованный, эффект калькулятора.*

УДК 008.2



## Введение: феномен отчуждения как результат цивилизационного развития

Современная цивилизация сконцентрирована на проблематике искусственного интеллекта. Это сравнительно новое явление открывает перед человечеством удивительные, ранее невиданные возможности, перспективы, решения. Применение данному инструменту пытаются найти во всех областях – от бытовой техники до освоения космоса. Причём повсюду речь заходит о поисках способа частичной или полной замены человека алгоритмами, а также машинами, их выполняющими. Хотя формально и технологически такая ситуация во многом нова, она отражает суть нашей земной техногенной (индустриальной) цивилизации и воплощает характерные для неё фундаментальные установки.

Понятие «цивилизация» происходит от французского *civilisation* (изначально – превращение уголовного процесса в гражданский), далее из *civiliser* – цивилизовать, из *civil* – гражданский, далее из латинского *civis* – гражданин [1]. Многим знакомо высказывание «*Civis Romānus sum!*» («Я римский гражданин!»). В античности это была формула самоутверждения, превосходства одной группы людей над всеми прочими в качестве носителей особых прав и привилегий. Даже самые бедные римские граждане получали бесплатный хлеб и доступ к зрелищам, а потому оставались элитой. С другой стороны, такое особое положение основывалось на их включённости в правовую систему – систему законов, распространявшихся только на римлян и требовавших для них особого суда, в то время как прочие находились вне закона и оказывались лишены всякой правовой защиты.

Цивилизация начинается там, где появляется закон. Именно он (неважно, формализованный или неформализованный) регулирует присущие цивилизованному сообществу отношения, отличающиеся от отношений, основанных на инстинктах или персональном опыте отдельно взятой особи в мире животных. Сначала это закон традиции или природы, затем – юридический закон, имеющий не только ограничивающую функцию, но и способствующий передаче практически ценных знаний. Добыча огня, изготовление орудий труда – вся материальная основа цивилизации зиждется на знании законов природы и выполнении предписываемых ими алгоритмов действий. Закон и алгоритм как последовательность операций – во многом тождественные понятия. Латинское слово *lex* (закон) в одном из значений – порядок действий [2].

Основной механизм самосохранения и развития цивилизации – обслуживание тех инженерных (индустриальных)

технологий, которые лежат в её фундаменте. Без технологий охоты и собирательства, выделки шкур и добычи огня, а также без других алгоритмизированных действий, правила осуществления которых сохраняются и передаются из поколения в поколение, общественное развитие как возрастание уровня сложности организации социума было бы невозможно. Инструментом упорядочивания в данной связи выступают определённые алгоритмы, которым подчиняются субъекты в цивилизационных процессах. Так, законы первобытных племён выстраивались вокруг необходимости поддержания огня. Индустриальное общество обслуживало машины. Человек XXI в. становится на службу искусственному интеллекту: выполняет функции, связанные с развитием способностей вычислительной техники, расширением сфер её применения, а также с её обслуживанием, одновременно являясь потребителем цифровых продуктов. Здесь в процессе отчуждения труда, описанном К. Марксом, открывается новое измерение.

До настоящего времени отчуждение труда выстраивалось в несколько этапов: отчуждение от инструментов производства (они находятся в собственности капиталиста, а не трудящегося); отчуждение от результатов деятельности (продукты не принадлежат трудящемуся); отчуждение от процессов исполнения физических процедур труда и от собственной телесности (тело человека фактически оказывается частью промышленного оборудования). Далее следовали отчуждение от родовой сущности (от связей с предками и сородичами, с которыми более не объединяет ни земля как объект труда, ни отношения собственности на орудия труда) и отчуждение людей друг от друга. С появлением алгоритмов искусственного интеллекта происходит отчуждение человека от элементов мыслительных и сознательных способностей, от собственного индивидуального разума. Обозначим такое явление как эффект калькулятора не только потому, что данные электронные устройства быстро и качественно обрабатывают цифры и выполняют сложные вычислительные операции, но и потому, что они все одинаковы – обезличены, как и любая другая машина.

### Эффект калькулятора

Эффект калькулятора состоит в том, что в процессе совершения мыслительных операций, таких как счёт, вместо субъекта некоторые действия производит математический (цифровой) алгоритм. В результате мышление оказывается фрагментированным. В ходе формирования понятия об объекте, на познание которого нацелено

мышление, оказываются пропущенными существенные этапы. Представление о мире становится лишено целостности, так как сам человек отчуждается от мышления. Интересно, что один из самых успешных брендов калькуляторов носит название Citizen. Слово происходит от латинского *civitas* (город), восходящего к тем же корням, что и *civis* (гражданин), и *civilisation* (цивилизация). Калькулятор – тот самый машинный алгоритм, который замещает индивида в главной его составляющей как биологического существа, наделённого разумом, – в мыслительной способности.

Описанный эффект относится не только к вычислительной деятельности. Алгоритмы встраиваются абсолютно во все мыслительные операции: сравнение, анализ, синтез, абстракцию, обобщение. Добираясь до места назначения, человек пользуется навигатором и может даже не задумываться, в какой части города находится. Известен случай, когда японские туристы в Австралии заехали на автомобиле в океан, хотя планировали попасть на остров неподалёку от берега. Они следовали указаниям навигатора [3]. Точно так же и в процессе прочтения новостей и поиска нужной информации нас всё чаще ведут алгоритмы, фиксирующие наши предпочтения и выдающие рекомендации для озонакомления только по тем темам, которые, с точки зрения искусственного интеллекта, могут быть нам интересны. Таким образом, развитие личности прекращается из-за её отключения от творчества и превращения в потребителя стандартизированной и избыточной информации.

В общении мы всё чаще заменяем целые блоки разговора демонстрацией видеороликов и мемов. Алгоритмы готовят нам кофе, делают уборку, строят автомобили и уже учатся управлять ими, запускают в космос ракеты, за секунды обрабатывают объёмы данных, которые человек не в силах рассмотреть и за целую жизнь. С возникновением новых технологий общество становилось могущественней, но всё меньше в нём места оказывалось для индивида в его природных проявлениях. Назовём это парадоксом цивилизованного человека. Он тем лучше и могущественнее, чем его меньше. Мы тем лучше исполняем законы, чем больше подчиняем им нашу жизнь. Для идеального исполнения хорошо бы нам вообще исчезнуть – сначала сократившись до «золотого миллиарда», далее – до «бриллиантового миллиона», который затем неизбежно деградирует как социум и обнулится, как и Древний Рим.

### Природное и цифровое мышление

Цивилизация заключает в себе установку на замену индивида алгоритмами и машинами, поскольку человек –

природное существо. Таким же образом асфальт заменяет траву; тракторы и автомобили – лошадей; общение в интернете – живой контакт. Цивилизация нацелена на замещение природного рукотворным. Создание искусственного интеллекта в данном контексте – необходимый этап развития так называемого цивилизованного (но никак не цивилизационного) сообщества. А первопричина состоит в следующем: в основе всего лежат техника и технологии. Они существуют по тем же, что и Живая Природа (живые организмы), принципам: на входе имеют сырьё и энергию, на выходе – полезную для человека продукцию (услугу) и технологические отбросы по схеме «(сырьё + энергия) – продукт (услуга) = отход». Разница в том, что отбросы технического производства не могут быть использованы техникой или жизнью в полной мере, как это происходит с отходами живых организмов.

Вся биосфера, маленькая частичка которой – человек, сформирована из жизненных отходов: биогумуса, способствующего плодородию ранее безжизненных почв; кислорода, которым мы дышим и который обеспечил создание спасительного для жизни на планете озонового слоя; углекислого газа, благодаря которому появился парниковый эффект, что повысило среднюю температуру на планете на 32 °С, без чего ни биосферы, ни нас не было бы, поскольку все океаны остались бы покрыты льдом [4]. Отбросы техносферы, напротив, наносят ущерб биосфере, так как являются ядовитыми антагонистами и отнимают ранее принадлежавшее ей пространство – в воздухе, воде и почве.

Таким образом, любая техногенная цивилизация (земное человечество здесь не исключение) не просто заменяет Живую Природу, но и борется с ней и уничтожает её – сначала на материальном уровне, а затем и на духовном и социальном. По той же логике материальное и информационное сырьё превращается в цифровые продукты, а также в материальные и информационные отходы, которые всё более заполняют жизненное пространство и живое мышление цифрой. Это и есть эффект калькулятора – материального субъекта индустриального объекта, производящего цифровой продукт и информационный отход, т. е. цифровой мусор.

Аналогия между мыслительным процессом и техническим производством может кому-то показаться спорной. Тем не менее, на наш взгляд, она заслуживает рассмотрения, если мы хотим дать всестороннюю оценку искусственному интеллекту. Необходимо понимать, что он – порождение техники, а не природы. Следовательно, искусственный интеллект должен тем или иным образом вбирать и преломлять принципы работы техники.

Сырьём для мышления выступает информация или данные (количественные и качественные). Посредством их обработки мы формируем представления, убеждения, знания, мировоззрение, целеполагание и на их основании выстраиваем свои действия. Побочным продуктом мышления (отходом) также оказывается информация, т. е. цифра. Однако она в мыслительном процессе претерпевает изменения. По сравнению с информационным сырьём информационные отходы существенно меняют свою структуру, становятся упорядоченными согласно формальным параметрам познавательной деятельности. Точно так сырьё меняет структуру и в технологических циклах. Например, из угля получают такой продукт, как тепловая и электрическая энергия. Отходами будут дымовые газы, зола, шлак, шлам и др. Химические элементы, из которых они состоят, содержались и в угле, но теперь они по-другому структурированы и соотнесены. При этом если уголь существовал как материя, гармонично вписанная в природу, то с момента его извлечения из неё и через изменение его структуры мы получаем вещества, нарушающие природный баланс. Отметим, что аналогичный процесс в природе не приводит к подобным результатам. Отходы жизнедеятельности всех живых организмов в биосфере планеты эффективно встраиваются в пищевые цепочки. Примерно аналогичная ситуация складывается и при сравнении природного мышления с цифровым мышлением.

Под природным мышлением предлагается понимать деятельность, осуществляемую непосредственно человеческим мозгом; под цифровым – компьютерными алгоритмами. Специфика отходов или побочных продуктов первого состоит в следующем:

- они могут оставаться никак не зафиксированными;
  - энергия, используемая для их производства, имеет естественное происхождение и встроена в природный энергообмен;
  - будучи зафиксированными, они могут эффективно встраиваться в мыслительные процессы других субъектов.
- Специфика побочных продуктов цифрового мышления:
- они в обязательном порядке фиксируются на цифровых носителях;
  - энергия, используемая для их производства, имеет искусственное происхождение и нарушает сложившийся в земной биосфере природный энергообмен;
  - значительная их часть не встраивается в мыслительные процессы субъектов природного мышления, а, напротив, нарушает и разрушает их, что подробнее описано выше через понятие «эффект калькулятора».

Рассмотрим сказанное на примере. Возьмём алгоритм, сгенерировавший обложку журнала Cosmopolitan. Как утверждает, нейросеть выполнила задачу за 20 с [5], основываясь в качестве исходных данных лишь на текстовом описании: «широкоугольный снимок с нижнего ракурса женщины-астронавта со спортивным телосложением, самодовольно идущей к камере на Марсе в бесконечной Вселенной в стиле цифрового искусства». Помимо самой обложки, которая показалась исследовательской группе наиболее удачной, было создано ещё не меньше десятка изображений. Это и есть отходы. На их производство потрачена электроэнергия. Они никому не нужны и никогда не будут использованы. Тем не менее они занимают место на сервере или жёстком диске компьютера, могут быть выброшены в интернет и там наряду с нужной и важной информацией окажутся просто шумом, препятствием для поиска нужного материала. Иными словами, они становятся ноосферным информационным мусором, вторгающимся в процессы природного мышления и загрязняющим его так же, как отходы технологического производства загрязняют биосферу.

### Информационный мусор

Результат того, что человек стал передавать для исполнения значительную часть мыслительных и творческих операций алгоритмам искусственного интеллекта, – переполнение информационного поля информационным мусором. По мнению авторов, это ведёт к деградации природного мышления так же, как к разрушению биосферы приводит её перенасыщение материальными отходами техносферы.

Информационный мусор, продуцируемый субъектами природного интеллекта, большей частью возникает при включении в мыслительные и творческие процессы цифровых алгоритмов. Благодаря последним производство интеллектуальных продуктов существенно облегчается: компьютерные программы исправляют грамматические ошибки, могут самостоятельно компилировать тексты, осуществлять графическую обработку изображений, делать коллажи и производить монтаж визуальных данных, обрабатывать и генерировать новые звуковые дорожки. Поскольку изготовление интеллектуального продукта оказывается существенно упрощено, его количество может превышать действительные потребности. Как и в технологическом производстве: продукт, который не потребляется, оказывается побочным, перестаёт быть продуктом и становится отходом.



Процессы создания не утилизируемых отходов мышления носят кумулятивный характер. С другой стороны, продукты природного мышления вынужденно вступают в конкуренцию с продуктами цифрового мышления. Это ещё один механизм замены человека. В конечном итоге индивид может быть полностью вытеснен. Во-первых, не будет необходимости в продуктах его мыслительных и творческих способностей. Во-вторых, сами эти способности окажутся непригодными для эффективной работы в новых условиях. В обилии информационного мусора мы можем оказаться неспособными отыскать нужное нам для мышления информационное сырьё.

### Необходимость контроля и ограничения сферы применения искусственного интеллекта

По мнению авторов, основная суть описанного кризиса природного мышления – утрата целостности представлений людей о действительности, дефрагментация, клиповость восприятия, всё возрастающая зависимость от гаджетов и алгоритмов, отчуждённость человека от ранее свойственных только ему сущностей и деконструкция самого представления о нём в логике дегуманизации и трансгуманизма. Как в случае с антагонизмом техносферы и биосферы, так и при противостоянии техно- и биомышления, принципиально разрешить ситуацию возможно только посредством разнесения названных систем в пространстве или, точнее, в сфере использования. Следовательно, как важно вынести вредоносную часть технологической промышленности в ближний космос на околоземную орбиту [6], так и необходимо разграничить области применения естественного человеческого (т. е. биологического) и искусственного инженерного (т. е. машинного) интеллекта. Например, оставить за первым всё, что относится к культурной, политической, правовой, социальной, образовательной, научной и иной творческой деятельности. За вторым – только технологические аспекты и помощь человеку (но без принятия решений) в той информационной (вычислительной) части, что не относится к понятиям «сознание», «человечность», «личность», «мировоззрение», «духовность», «мораль», «этика», «нравственность», «культура», «целеполагание», «планирование» и др. Искусственный интеллект – для техники; естественный – для человека. Остаётся, однако, вопрос: каким образом это разделение осуществить? Оказывается, что, как и в случае с задачей вынесения индустрии в космос, ограничение сферы применения искусственного интеллекта требует политической воли и международного целенаправленного взаимодействия.

Следует отметить: профессиональное сообщество, занятое изучением и развитием искусственного интеллекта, прекрасно понимает степень опасности, которую несут разработки в данной области. Прежде всего, разбирается, внимание обращают на угрозы, связанные с применением алгоритмов при производстве военной техники. ООН уже несколько лет призывает к международному регулированию разработок, сопряжённых с созданием «мыслящих» алгоритмов. «Необходимо, чтобы люди имели серьёзные основания полагать, что ИИ-системы могут быть индивидуальным и общим благом и что в интересах минимизации потенциальных негативных последствий принимаются адекватные меры. Важнейшим условием доверия к искусственным интеллектуальным системам является возможность их тщательного контроля на протяжении всего жизненного цикла соответствующими заинтересованными сторонами», – заявляется в Рекомендации об этических аспектах искусственного интеллекта [7]. Тем не менее до сих пор эти слова остаются не услышанными, напротив, государственные программы США и Китая продолжают развивать технологии, по сути, вступив в новую гонку вооружений.

### Механизмы «бегства от свободы» в индустриальном и постиндустриальном обществе

Особого рассмотрения заслуживает оптимизм, который обнаруживается в обществе в связи с расширением сферы применения искусственного интеллекта. На наш взгляд, в данном процессе задействованы те же механизмы, которые Э. Фромм определил как «бегство от свободы» [8] и которые ранее обусловили возникновение тоталитарных режимов, а теперь могут вылиться в возникновение нового типа социального устройства – цифрового тоталитаризма или цифрового фашизма. Прежде чем описать его, приведём несколько цитат немецкого социолога, относящихся к процессам и состояниям психики, которые приводят к социальной несвободе и отчуждению от разума.

Учёный пишет: «Новая свобода неизбежно вызывает ощущение неуверенности и бессилия, сомнения, одиночества и тревоги. Чтобы иметь возможность действовать, человек должен как-то избавиться от этого» [8]. В большинстве своём люди «не могут без конца владеть бременем «свободы от»; если они не в состоянии перейти от свободы негативной к свободе позитивной, они стараются избавиться от свободы вообще. Главные пути, по которым

происходит бегство от свободы, – это подчинение вождю, как в фашистских странах, и вынужденная конформизация, преобладающая в нашей демократии», – продолжает Э. Фромм [8]. «Хорошая приспособленность часто достигается лишь за счёт отказа от своей личности; человек при этом старается более или менее уподобиться требуемому – так он считает – образу и может потерять всю свою индивидуальность и непосредственность» [8]. «Став частью силы, которую человек считает неколебимой, вечной и прекрасной, он становится причастным к её мощи и славе. Индивид целиком отрекается от себя, отказывается от силы и гордости своего «я», от собственной свободы, но при этом обретает новую уверенность и новую гордость в своей причастности к той силе, к которой теперь может себя причислить. И, кроме того, приобретает защиту от мучительного сомнения» [8].

Приведённые цитаты описывают ситуацию, сложившуюся в XX в. и приведшую к появлению фашизма в Европе. Однако все эти утверждения и наблюдения верны и для XXI в. Разница лишь в том, что в качестве «неколебимой вечной и прекрасной силы» выступает не государство, политическая партия с её идеологией или великая личность вождя, а алгоритмы искусственного интеллекта и цифровые технологии, лежащие в их основе. Современный индивид, которому в либеральных странах предоставлена большая отрицательная «свобода от», будучи не в силах преобразовать её во что-то положительное, готов отказаться от своего «я», чтобы обрести уверенность и быть причастным к великой силе цифрового мышления.

Массовый человек оказывается готов передать искусственному интеллекту право и обязанность принимать решения в максимально возможном количестве областей. Пусть наши цифровые друзья прокладывают за нас маршруты, руководят предприятиями и фондовыми рынками, диагностируют болезни и выдают рекомендации по их лечению, выбирают музыку для прослушивания, книги и новости для прочтения, фильмы для просмотра, осуществляют подсчёт голосов на выборах и проводят судебные процессы, принимая якобы объективные и беспристрастные решения. Мы же будем только обладать и пользоваться всем этим, являясь великими ввиду величия тех невероятных вычислительных мощностей, которые окажутся в нашем распоряжении. При помощи алгоритмов мы сможем улучшать генетические параметры до рождения ребёнка, а после совершенствовать человеческое тело – вживляя чипы и принимая препараты, которые расширят наши возможности. Мы будем способны мгновенно осваивать сложные профессии и получать необходимые знания,

например за счёт систем дополненной реальности и нейросетей, интегрированных в очки, овладевая новыми языками или обучаясь управлению вертолётом. Однако мы сами, т. е. наше «я», при этом окажемся максимально нивелированы. С одной стороны, мы станем потребителями, с другой – рабами, так как раб есть только инструмент, служащий субъекту мышления и принятия решений. Сам раб не мыслит и не принимает решений.

Цифровой тоталитаризм – уже не антиутопия, а новая реальность, пространство существования которой неуклонно разрастается, грозя поглотить всю современную человеческую цивилизацию. Тоталитаризм (от лат. *totalis* – весь, целый, полный ← *totalitas* – цельность, полнота) – политический режим, подразумевающий абсолютный (тотальный) контроль государства над всеми аспектами общественной и частной жизни. Повсеместное внедрение гаджетов и алгоритмов искусственного интеллекта осуществляет работу по предоставлению инструментов контроля лучше, чем любая из когда-либо действовавших полицейских служб.

Цифровой тоталитаризм намного страшнее всех ранее существовавших систем подобного толка потому, что субъект власти и контроля в нём обезличен. Вместо человека (политика, полицейского или соседа по коммунальной квартире) функции контроля и принятия ряда решений о поощрении или наказании выполняет искусственный интеллект – якобы нейтральный и объективный. Обыватель не может усмотреть в его действиях никаких злых намерений, а значит, ему остаётся только смириться, приняв происходящее как должное, как некие природные силы, которые, однако, таковыми не являются.

Приведённый авторский анализ показывает, что пессимистический сценарий развития событий вовсе не обязательно предполагает восстание машин и физическое уничтожение ими людей. Вероятно, люди будут устранены иным образом – ментально. Мы просто перестанем быть мыслящими существами, делегировав это качество машинам, и тем самым прекратим своё существование как вида. История человека разумного на этом закончится, ему на смену придёт человек цифровизованный, биоцифровой конвергент.

### Человек цифровизованный

Человек цифровизованный – потенциально новый вид живых существ, вид рода Люди (*Homo*) из семейства гоминид в отряде приматов. При определённых обстоятельствах он сможет иметь особенное физиологическое строение,

а также внешность, поведение. Его определяющая отличительная характеристика – внедрение в организм различного рода химических препаратов и электронных устройств; опосредованность большей части ментальных процессов алгоритмами искусственного интеллекта, интегрированного в глобальную информационную сеть. По сути, жители технологически развитых стран уже имеют многие признаки человека цифровизованного, возникновение которых обусловлено увеличением роли гаджетов, а также получаемой и обрабатываемой с их помощью информации. Решающим шагом в контексте предполагаемого эволюционного скачка должно стать объединение биологических и цифровых технологий в единую систему регулирования человеческого состояния и поведения. На сегодняшний день мы уже вплотную приблизились к этому с точки зрения технической осуществимости подобной системы [3]. Если она сформируется, то вероятность становления глобального цифрового тоталитаризма возрастёт на порядки.

Для того чтобы более отчётливо увидеть тенденцию замены человека компьютером в области интеллектуальной деятельности, приведём статистическую информацию [9], сообщающую, что на протяжении XX в. уровень интеллекта в среднем существенно вырос. Подобное явление названо эффектом Флинна – статистический феномен, выражающийся в постепенном повышении показателей коэффициента интеллекта (IQ) с течением лет как в отдельных странах, так и в целом мире. Данный процесс представляется парадоксальным: рост наблюдался в рамках десятилетий, поэтому затруднительно объяснить его факторами эволюционно-генетического толка как буквальное «поумнение» человеческого рода.

Дж. Флинн показал [9], что с 1934 по 1978 г. средний IQ жителей США увеличился на 15 пунктов – примерно на три пункта за каждое десятилетие. Аналогичные исследования в других странах дали схожие результаты. Так, новозеландский психолог описал повышение на 20 пунктов IQ голландских призывников с 1952 по 1982 г. Однако проведённые после 2000 г. эксперименты продемонстрировали спад эффекта Флинна: рост IQ замедляется, прекращается или даже сменяется спадом. В 2004 г. данные об IQ норвежских призывников показали, что после середины 1990-х годов рост остановился и сменился спадом. Исследования Т. Тисдейла и Д. Оуэна, выполненные в 2005 и 2008 гг., выявили, что результаты тестов на IQ датских призывников росли с 1959 по 1979 г. на три пункта в десятилетие; за 1979–1989 гг. увеличились только на два пункта; за 1989–1998 гг. – на 1,5 пункта; за 1998–2004 гг. снизились на те же 1,5 пункта. В дальнейшем ситуация лишь усугублялась.

Важно, что переломный момент, когда после продолжительного периода роста интеллектуальные способности людей пошли на спад, хронологически точно совпадает с началом компьютеризации общества. Природное мышление при наличии альтернативы (замены) оказывается просто избыточным.

Цивилизационное развитие достигает своей кульминации, обретая возможность замены не только окружающей человека природной среды, но и самого индивида в его природном измерении. С учётом того, что человечество благодаря этому получает в своё распоряжение новые небывалые вычислительные возможности, а человек цифровизованный кому-то может показаться сверхчеловеком, такая ситуация иногда оценивается как прогрессивная. Некоторые считают [3], что передать функцию и право принятия ключевых решений достаточно развитому искусственному интеллекту – благо. Однако, прежде чем согласиться с подобными утверждениями, необходимо разобраться, способен ли искусственный интеллект выполнять роль, какую ему сулят и какую он уже берёт на себя.

### Принципиальная ограниченность искусственного интеллекта

Что такое интеллект и искусственный интеллект?

Мы считаем автоматическую систему управления автомобилем интеллектуальной системой и, более того, уверены, что автоматизированный автомобиль управляется искусственным интеллектом. Так ли это? Является ли на самом деле «умным» дом, в котором с помощью смартфона мы можем открыть форточку, хотя в этом доме жить некомфортно, а иногда и опасно для здоровья? Можно ли назвать «умным» городом место проживания и работы миллионов людей, где на улицах «умные» «зелёные» электромобили ежегодно убивают сотни жителей, включая детей, как ранее их убивали в автокатастрофах экологически грязные автомобили, оснащённые двигателем внутреннего сгорания? Под электромобилями в асфальт закатана почва, в них так же, как в обычных автомобилях, нужно часами стоять в пробках и дышать канцерогенными испарениями от разогретого на солнце асфальта и продуктами износа шин и дорожного полотна.

Возникает закономерный вопрос: на каком основании электрическая энергия считается самой безопасной и самой экологически чистой для тех же электромобилей? По факту она безопасна только в месте своего потребления,

а не в месте своего производства. За примерами далеко ходить не надо:

- экологические катастрофы в Чернобыле и Фукусиме – результат промышленного производства электрической энергии, полученной от атома;
- кислотные дожди, глобальное потепление и разрушение защитного озонового слоя планеты – попутный продукт работы тепловых электростанций;
- затопленные тысячи квадратных километров полей и лесов – результат строительства плотин гидроэлектростанций, которые не только преграждают пути миграции рыбы, но и перемалывают своими турбинами всё живое, спуская вниз по течению питательный бульон для размножения патогенной микрофлоры [10];
- ветряки, которые убивают миллионы птиц [11], так как те не видят вращающиеся лопасти турбины. Кроме того, лопасти, скорость движения которых может достигать скорости звука, создают мощный шум и вибрации (от низкочастотных до высокочастотных, из-за чего в округе погибают земляные черви (источник плодородия почв)) и делают невыносимой жизнь людей даже в нескольких километрах от таких якобы «зелёных» электростанций;
- гудящие провода высоковольтных линий электропередач, под которыми нельзя что-то выращивать и пастись скоту, да и жить и работать рядом опасно для здоровья из-за мощного переменного электромагнитного поля [11].

Можно спорить о том, насколько сложным механизмом является электромобиль и насколько сложно им управлять с помощью шести простых действий: «газ», «тормоз», «вперёд», «назад», «влево», «вправо». И почему причастность к управлению машиной стала главной и определяющей особенностью чего-то безумно «умного», прозванного «искусственный интеллект»? Однако поскольку само понятие интеллекта пришло от Человека разумного – вершины совершенства живой материи, то необходимо найти суть этого термина не в математике и физике, не в философии и бизнесе, а в понятии «Жизнь», т. е. в живых организмах.

Базовая структурная единица любого живого организма – молекула ДНК, в которой записана вся его генетическая информация. В данной молекуле сотни миллиардов деталей – атомов различных химических элементов [12], встроенных в чётко определённых местах в молекулярно-пространственную конструкцию высочайшей сложности. В электромобиле же всего несколько тысяч деталей. Значит, молекула ДНК с инженерной точки зрения невообразимо сложна – она сложнее электромобиля в миллионы раз. ДНК сложнее даже всех инновационных технологий, вместе

взятых, созданных тысячами поколений людей нашей цивилизации (суммарно около 100 млрд человек, живших на планете) за продолжительную человеческую историю (более миллиона лет, начиная от изобретения первого костра): болтов и гаек, мостов и небоскрёбов, двигателей внутреннего сгорания и турбин, ракет и самолётов, автомобилей и железных дорог, компьютеров и смартфонов, а также тысяч и тысяч других инженерных технологий.

Молекула ДНК сложнее и всей неживой части нашей огромной Вселенной (т. е. без планеты Земля), простирающейся на десятки миллиардов световых лет, состоящей из триллионов триллионов планет, звёзд, галактик и скоплений галактик. Ведь Вселенная, по одной из теорий появившаяся из сингулярности в результате Большого взрыва, формировалась в течение миллиардов лет (в процессе расширения энергии и вещества в трёхмерном Пространстве) случайным образом под воздействием возникших в сингулярности физических закономерностей, которые мы затем назвали законами физики. Они и есть те «гены», которые создали нашу Вселенную. Такие мёртвые (т. е. неживые) физические «гены» можно описать значительно более простыми математическими формулами, чем гены молекулы ДНК, дающие жизнь. Образование планет, звёзд, галактик и их скоплений происходило в основном под влиянием всего лишь одной из особенностей материи – присущей ей гравитации [13]. Именно этот главный «ген» роста и развития Мироздания выполнил свою важную миссию: собрал водород в звёзды и зажёл их, в том числе и Солнце; создал чёрные дыры, сформировавшие вокруг себя галактики; собрал камни и звёздную пыль в планеты, в том числе и Землю, на которой затем и зародилась жизнь, возможно, единственная в бескрайней Вселенной.

Индустрия складывается из своих индустриальных «кирпичиков» – узлов, механизмов, оборудования, различных технологических процессов и материалов, из которых затем строятся заводы, электростанции, дороги и другие промышленные системы стран, регионов и земной технологической цивилизации в целом. При этом вся её индустриальная мощь – земная техносфера – по своему интеллектуальному потенциалу, как и весь интеллектуальный потенциал всех людей, живших на Земле и в течение тысяч поколений создававших эту техносферу, как обосновано выше, очень сильно уступает интеллекту Творца, изобретшего такой «простой кирпичик» любого живого организма (а не жизни и биосферы в целом), как молекула ДНК.

Ещё в миллионы раз сложнее ДНК каждая живая клетка любого живого организма, а их, например, только в организме взрослого человека насчитывается примерно 40 трлн [14].

Из этих клеток, которых около 230 типов, сложены все ткани, органы и системы нашего организма: 850 мышц, 208 костей, 230 суставов, 10 основных систем, 78 органов, десятки желез, миллиарды эндокринных клеток, вырабатывающих тысячи совершенно разных секретов, гормонов и биологически активных органических веществ, регулирующих сложнейшие биохимические реакции – метаболизм в клетках и органах. Кроме того, человеческое тело наделено сложнейшей внутренней транспортной системой – более 100 млрд только кровеносных сосудов общей длиной около 100 000 км с 25 трлн «транспортных средств» [15], т. е. эритроцитов крови (если расположить все эритроциты в одну линию, вплотную друг к другу, то она протянется почти на 200 000 км), а также имеет свою информационную сеть – нервные волокна общей длиной около 150 000 км. Вместе с тем существует огромное количество всевозможных связей (энергетические, информационные и продуктивные) как внутри организма, так и с внешним миром, точное количество которых вычислить нереально: оно, скорее всего, будет больше, чем гугол, а это число невообразимо большое.

По своей инженерной сложности, а Творец, безусловно, был инженером (но никак не банкиром, политиком, экономистом, философом, священником или олигархом), человеческий организм сложнее всего того, что создала наша технократическая цивилизация за всю историю своего существования, в мириады мириад раз, причём более точного значения этой сложности, чем абстрактные «мириады», привести невозможно.

Представим себе человека, лежащего в коме. Его организм функционирует нормально, органы и системы работают исправно, при этом работой данного гиперсложного творения управляет его же мозг без чьей-либо посторонней помощи. У такого человека нет только сознания. Можно ли сказать, что в подобном состоянии он обладает интеллектом? Конечно же нет.

### Заключение: возможные сценарии дальнейшего развития

Мы стали называть термином «искусственный интеллект» примитивные системы управления технологическими процессами, тем же автомобилем, с помощью примитивных же машин – железняк-компьютеров, а по сути, быстродействующих калькуляторов. Вместе с тем следует отметить, что у такого «интеллекта» нет сознания, духовности, мировоззрения, морали, этики, нравственности,

культуры, целеполагания. Ведь очевидно, что умение быстро считать и управлять какими-либо процессами, как технологическими, так и жизненными, не входит в понятия «ум» и «интеллект».

Главная причина возникновения представлений о том, что цифра должна руководить индивидом, социумом и человечеством в целом, по мнению авторов, состоит в стремлении «мировой элиты» к получению сверхприбыли при бесконтрольном и безответственном управлении человечеством, низведённым до уровня цифрового биороботоконвергента, где каждое оцифрованное человекоподобное существо станет лишь безликим муравьём или рабочей пчелой в рое.

С инженерной точки зрения попытка образования «дивного нового мира» инклюзивного капитализма ничуть не лучше идеи создания мира, в котором, например, полётом примитивного самолёта «Боинг» будет управлять невероятно сложно устроенный вирус, например COVID-19. Цифровики, а они якобы «всё знают и всё умеют», легко «обучат» его необходимым навыкам пилотирования. О том, что созданный Творцом простейший вирус наверняка сложнее любой самой сложной рукотворной машины, что подробно описано выше, говорит хотя бы тот факт, что самолёты мы умеем проектировать, изготавливать с нуля и затем совершенствовать, в том числе автопилот, чтобы они ещё лучше летали. А вот вирус – нет, человек не способен его сконструировать с нуля, от атома к атому, он умеет только кое-как модифицировать природный вирус, совершенно не понимая отдалённых последствий такой инженерной трансформации.

Общеизвестно, что управлением простых систем должны заниматься более сложные, а не наоборот, как это планируется сделать в создаваемой в настоящее время виртуальной вселенной. Более того, управляющая система должна быть сложнее управляемой на много-много порядков. Очевидно, что тем же самолётом не сможет управлять, например, комар, в миллионы раз более сложный, чем вирус, и даже обезьяна, ещё более сложно устроенная. «Успехи» так называемого «искусственного интеллекта» (все они мнимые, а не реальные) обусловлены не тем, что он якобы очень «умный», а тем, что его породил и сопровождает творец – человек-интеллектуал. Причём не один, а социум, и не просто социум какого-то отдельно взятого африканского племени, а всей земной технократической (т. е. индустриальной) цивилизации.

Именно цивилизация дала каждому человеку главные составляющие его личностного интеллекта – осознанность, духовность, нравственность, культуру, целеполагание, багаж

знаний, в том числе научных, сформированных в течение тысяч и тысяч поколений развития *Homo sapiens* и земной индустрии в целом, что, собственно, и позволило разработать быстродействующую вычислительную цифровую машину. Значит, мертворождённое (потому что не является живым), неразумное и бездуховное дитя технологического прогресса под названием «искусственный интеллект» ни в коем случае не должно руководить своим создателем – человеком, обладающим настоящим живым интеллектом. Иначе всё будет, как в истории с самолётом, управляемым вирусом, комаром или обезьяной: взлетев, такой «умный» аппарат непременно разобьётся, хотя бы по той простой причине, что, даже научившись управлять техникой, комар не научится использовать её целесообразно.

Сущность цивилизации, состоящая в том, чтобы установить порядок, параллельный или альтернативный природному, в предельной перспективе может реализоваться лишь в трёх сценариях. Первый – глобальное угнетение всего живого и вытеснение (замена) его искусственным. Второй – отказ от цивилизационного (технологического) пути развития и возвращение в дикость, сопровождаемое торжеством природы. Третий – установление баланса между природой и искусственными формами организации материи и мысли. Последний сценарий возможен только при строгом разграничении техносферы и биосферы, включая сегментирование областей применения цифрового и природного мышления. Космос – для индустрии, Земля – для жизни. Искусственный интеллект – для техники, человеческий разум – для человеческого общества.

### Литература

1. *Цивилизация [Электронный ресурс] // Викисловарь. – Режим доступа: <https://ru.wiktionary.org/wiki/цивилизация>. – Дата доступа: 01.09.2022.*
2. *Перевод: с латинского на русский [Электронный ресурс] // Словари и энциклопедии на Академике. – Режим доступа: <https://translate.academic.ru/lex/la/ru/>. – Дата доступа: 01.09.2022.*
3. *Харари, Ю.Н. 21 урок для XXI века / Ю.Н. Харари. – М.: Синдбад, 2019. – 416 с.*
4. *Изменение климата: последствия, смягчение, адаптация: учеб.-метод. комплекс / М.Ю. Бобрик [и др.]. – Витебск: ВГУ им. П.М. Машерова, 2015. – 424 с.*
5. *Нейросеть создала обложку для Cosmopolitan [Электронный ресурс] // РИА Новости. – Режим доступа:*

*<https://ria.ru/20220622/cosmopolitan-1797266699.html>. – Дата доступа: 01.09.2022.*

6. *Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакросс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.: ил.*
7. *Рекомендация об этических аспектах искусственного интеллекта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ifap.ru/ofdocs/unesco/airec.pdf>. – Дата доступа: 17.11.2022.*
8. *Фромм, Э. Бегство от свободы / Э. Фромм. – М.: АСТ, 2017. – 288 с.*
9. *Валуева, Е.А. Эффект Флинна: обзор современных данных / Е.А. Валуева, С.С. Белова // Психология. Журнал Высшей школы экономики. – 2015. – Т. 12, № 4. – С. 165–183.*
10. *Барк, И. Жертвы экологически чистой энергии: сколько птиц гибнет от ветрогенераторов [Электронный ресурс] / И. Барк. – Режим доступа: <https://www.techinsider.ru/science/579664-vyyasnilos-skolko-ptic-gibnet-ot-vetrogeneratorov/>. – Дата доступа: 01.09.2022.*
11. *Dams and Development: A New Framework for Decision-Making: The Report of the World Commission on Dams [Electronic resource]. – Mode of access: [https://archive.internationalrivers.org/sites/default/files/attached-files/world\\_commission\\_on\\_dams\\_final\\_report.pdf](https://archive.internationalrivers.org/sites/default/files/attached-files/world_commission_on_dams_final_report.pdf). – Date of access: 01.09.2022.*
12. *Начала современного естествознания [Электронный ресурс] // Словари и энциклопедии на Академике. – Режим доступа: <https://estestvoznanie.academic.ru/396/ДНК>. – Дата доступа: 01.09.2022.*
13. *Гулькаргов, И. Какова роль гравитации во Вселенной [Электронный ресурс] / И. Гулькаргов. – Режим доступа: <https://www.kontinent.org/article.php?aid=5335a2abd1aa7>. – Дата доступа: 01.09.2022.*
14. *Клетка [Электронный ресурс] // Энциклопедия Кругосвет. – Режим доступа: <https://www.krugosvet.ru/enc/biologiya/kletka>. – Дата доступа: 01.09.2022.*
15. *Сердце и сосуды: интересные факты [Электронный ресурс] // Hirslanden: Swiss Hospital Group. – Режим доступа: <https://www.hirslanden.com/ru/international/focus/cardiology/heart-bloodvessels.html>. – Дата доступа: 01.09.2022.*

# Правовые аспекты использования искусственного интеллекта при реализации геокосмической программы uSpace

УДК 004.8:349:346.7

Юницкий А.Э.<sup>1,2</sup>,  
доктор философии транспорта

Горбунов М.С.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> ООО «Астроинженерные технологии»,  
г. Минск, Беларусь

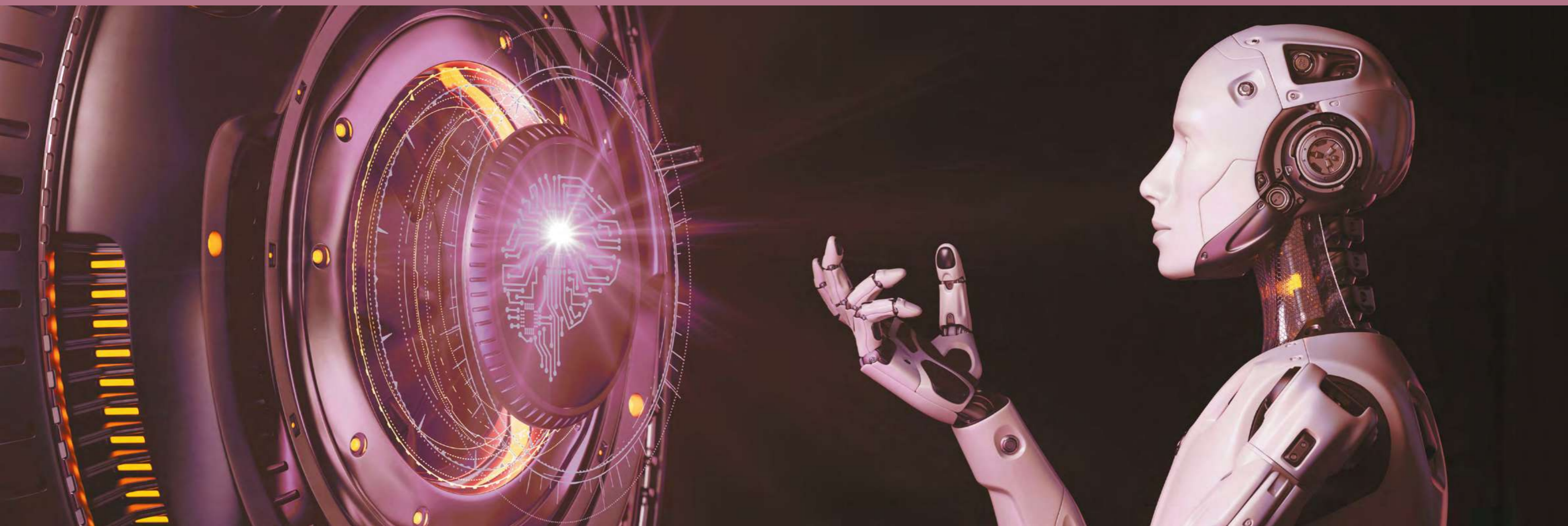
<sup>2</sup> ЗАО «Струнные технологии»,  
г. Минск, Беларусь

<sup>3</sup> ООО «ЮВР»,  
г. Минск, Беларусь



Данная работа представляет собой первую в отечественной и зарубежной правовой доктрине попытку осмысления и системного анализа использования искусственного интеллекта (ИИ) при реализации геокосмической программы uSpace. Методология исследования включает в себя применение общенаучных, междисциплинарных и специальных юридических методов. Этим и объясняется актуальность темы, её научная значимость, новизна и авторский подход. Рассмотрены теоретико-правовые аспекты ИИ, а также раскрыты возможные способы его использования в ходе осуществления программы uSpace. Выполнен сравнительно-правовой анализ сложившихся тенденций в правовом регулировании ИИ на международном уровне. Выявлены наиболее серьезные проблемные вопросы задействования ИИ в свете публичного и частного права, показаны перспективные способы их разрешения. Сформулированные выводы и предложения нацелены на инновационное регулирование общественных отношений, опосредующих использование ИИ при реализации программы uSpace, и служат основой для дальнейших научных исследований специальной направленности.

**Ключевые слова:** геокосмическая программа uSpace, искусственная интеллектуальная система, искусственное сознание, искусственный интеллект (ИИ), технологии искусственного интеллекта.





## Введение

Как справедливо отмечается в литературе, освоение и индустриализация ближнего космоса посредством ракет во многом бесперспективны. Это объясняется рядом научно обоснованных фактов, среди которых – крайне дорогостоящий характер ракетных запусков и низкая транспортная производительность современной мировой ракетно-космической отрасли. Немаловажным фактором выступает также наличие весьма очевидных причинно-следственных связей между неэффективной ракетной космонавтикой и возникновением глобальных экологических проблем, таких как разрушение озонового слоя, загрязнение окружающей среды, неблагоприятное изменение физических показателей и химического состава атмосферы, возникновение турбулентности ионосферы и др. [1]. Выходом из сложившейся ситуации представляется использование альтернативных способов индустриализации ближнего космоса, отличающихся улучшенными характеристиками в сфере производительности, безопасности и экологии. В качестве наиболее фундаментального и обоснованного пути альтернативного освоения космоса с точки зрения как теоретической, так и прикладной науки необходимо признать решения и методы, разработанные в рамках геокосмической программы «Спассе».

Данная программа включает в себя множество компонентов, на которых мы остановимся ниже. Несомненным преимуществом в разрезе её реализации является внедрение искусственных интеллектуальных систем в различные сферы общественных отношений, что нашло своё отражение в исследованиях национальных и зарубежных авторов [2–7]. Применение искусственного интеллекта (ИИ) влечёт за собой множество проблем системного характера. Среди них и проблемы права, тесно связанные с когнитивной наукой, нейронаукой, философией, этикой, моралью, нравственностью, информационной и общественной безопасностью, а также рядом иных комплексных и междисциплинарных направлений.

Отмечая несомненную важность включения вопросов использования ИИ в обозначенные выше исследования, в том числе опубликованные в сборниках материалов конференции по безракетной индустриализации космоса [8, 9], необходимо сказать, что указанная тема не являлась центральным звеном научных изысканий. ИИ зачастую упоминается авторами фрагментарно в контексте общего направления научной деятельности, а соотносящиеся с ним вопросы носят преимущественно описательный или разъяснительный характер. Стоит обозначить и отсутствие междисциплинарных

работ, отражающих системный подход при использовании ИИ в решениях и методах, предлагаемых программой «Спассе», равно как и отсутствие доктринальных исследований, посвящённых правовым аспектам его применения.

Ниже описаны результаты научного исследования правовых аспектов использования ИИ при реализации программы «Спассе» в контексте обозначенной проблематики, предложены возможные варианты преодоления наиболее значимых пробелов правовой доктрины, связанных с применением технологий ИИ.

## Теория искусственного интеллекта

### Понятие интеллекта и когнитивных функций

При исследовании понятия «искусственный интеллект» первично необходимо уяснить, что понимают под интеллектом. В отношении слова «интеллект» отсутствует терминологическое единство, что обусловлено междисциплинарным характером указанного понятия, его связью со множеством сфер человеческого познания – философией, наукой, психологией и др. Термин «интеллект», как и ряд иных, таких как «сознание», «психика», «разум», «рассудок», крайне сложен для понимания и оценки человеком. Во многом это детерминировано и тем, что субъект и объект исследования здесь совпадают в одном лице, интеллект изучает и анализирует сам себя, что представляет собой неразрешимую философскую и научную проблему. При этом на данный момент очевидно, что для её решения требуется выйти на новый качественный, а не количественный уровень. То есть в основе должны лежать прогрессивные и нестандартные научные методы, а не увеличение точности измерительных приборов.

Тем не менее понятие интеллекта можно найти в доктринальных источниках. Так, Encyclopaedia Britannica определяет человеческий интеллект как «свойство психики, состоящее из способностей учиться на опыте, адаптироваться к новым ситуациям, понимать и оперировать абстрактными концептами, а также использовать знания для управления окружающей средой» [10]. Большая российская энциклопедия трактует интеллект следующим образом: «...общая познавательная способность, которая проявляется в том, как человек воспринимает, понимает, объясняет и прогнозирует происходящее, какие решения он принимает и насколько эффективно он действует (прежде всего в новых, сложных или необычных ситуациях)» [11].

Человек, будучи существом с развитым интеллектом, обладает целым рядом когнитивных (высших психических) функций, к которым относят восприятие, воображение, память, мышление, речь, пространственную ориентацию, понимание, вычисление, обучение (самообучение), рассуждение и др. Человеческому интеллекту свойственна и креативная функция, т. е. возможность создавать нечто новое, не существовавшее прежде (творчество).

### Понятие искусственного интеллекта

Существуют различные трактовки понятия «искусственный интеллект». Его можно толковать как программно-технический комплекс (искусственную интеллектуальную систему); свойство, присущее искусственной интеллектуальной системе; группу технологий; научное направление. Указанный терминологический аппарат системно представлен на рисунке 1.

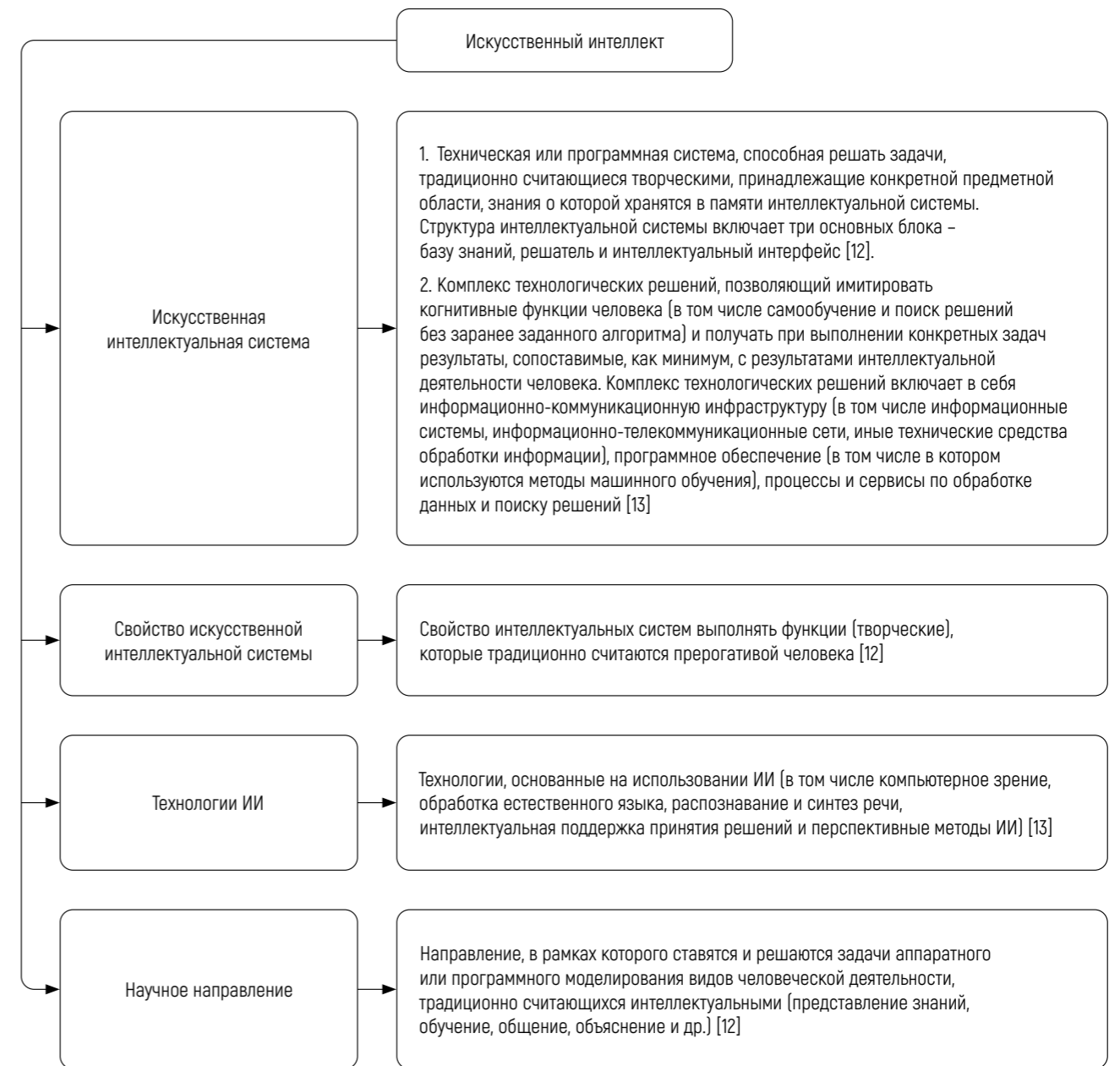


Рисунок 1 – Искусственный интеллект. Терминологический аппарат

Исходя из указанных данных, можно сделать вывод о том, что ИИ в первую очередь выступает свойством интеллектуальной системы подобно тому, как интеллект выступает свойством психики человека. Фундаментальная цель ИИ – имитация когнитивных функций человека, перечисленных нами ранее, на уровне, сопоставимом или выше уровня человека. ИИ нередко отождествляется с искусственной интеллектуальной системой, представляющей собой программно-технический комплекс, основанный на технологии ИИ (компьютерное зрение, интеллектуальная поддержка принятия решений и др.).

### Искусственный интеллект и искусственное сознание

Одна из ключевых философских проблем современно-го цифрового общества – это, безусловно, вопрос сильного и слабого ИИ. Постулаты, положенные в основу обозначенной проблемы, служат своеобразным напоминанием о том, какие существенные риски несёт за собой создание ИИ.

Сильный и слабый ИИ – гипотеза в философии ИИ, согласно которой отдельные его формы могут действительно обосновать и решать проблемы. Теория сильного ИИ предполагает, что компьютеры могут приобрести способность мыслить и осознавать себя как личность (в частности, понимать собственные мысли), хотя и не обязательно, что их мыслительный процесс будет подобен человеческому. Теория слабого ИИ отвергает такую возможность [14].

Указанные теории коррелируют с термином «искусственное сознание», которое относится к небиологической, созданной человеком машине, осознающей своё собственное существование [15]. Риски приобретения машиной искусственного сознания сложно предугадать. Их диапазон – от появления у человека преданного друга до уничтожения всего человечества. Ключевой проблемой в данном случае считается тот факт, что в когнитивной науке на сегодняшний день отсутствует реальная методология определения наличия у робота синтетического сознания, не предвидится её разработка и в ближайшем будущем. Если в какой-то момент времени у робота возникнет искусственное сознание, социум может узнать об этом слишком поздно, что станет одной из центральных проблем в том числе и в правовой науке.

### Проблематика использования искусственного интеллекта

#### Проблематика использования искусственного интеллекта через призму публичного права

Проблематику использования ИИ в публичной сфере рассмотрим в первую очередь на примере отрасли конституционного права (рисунок 2).

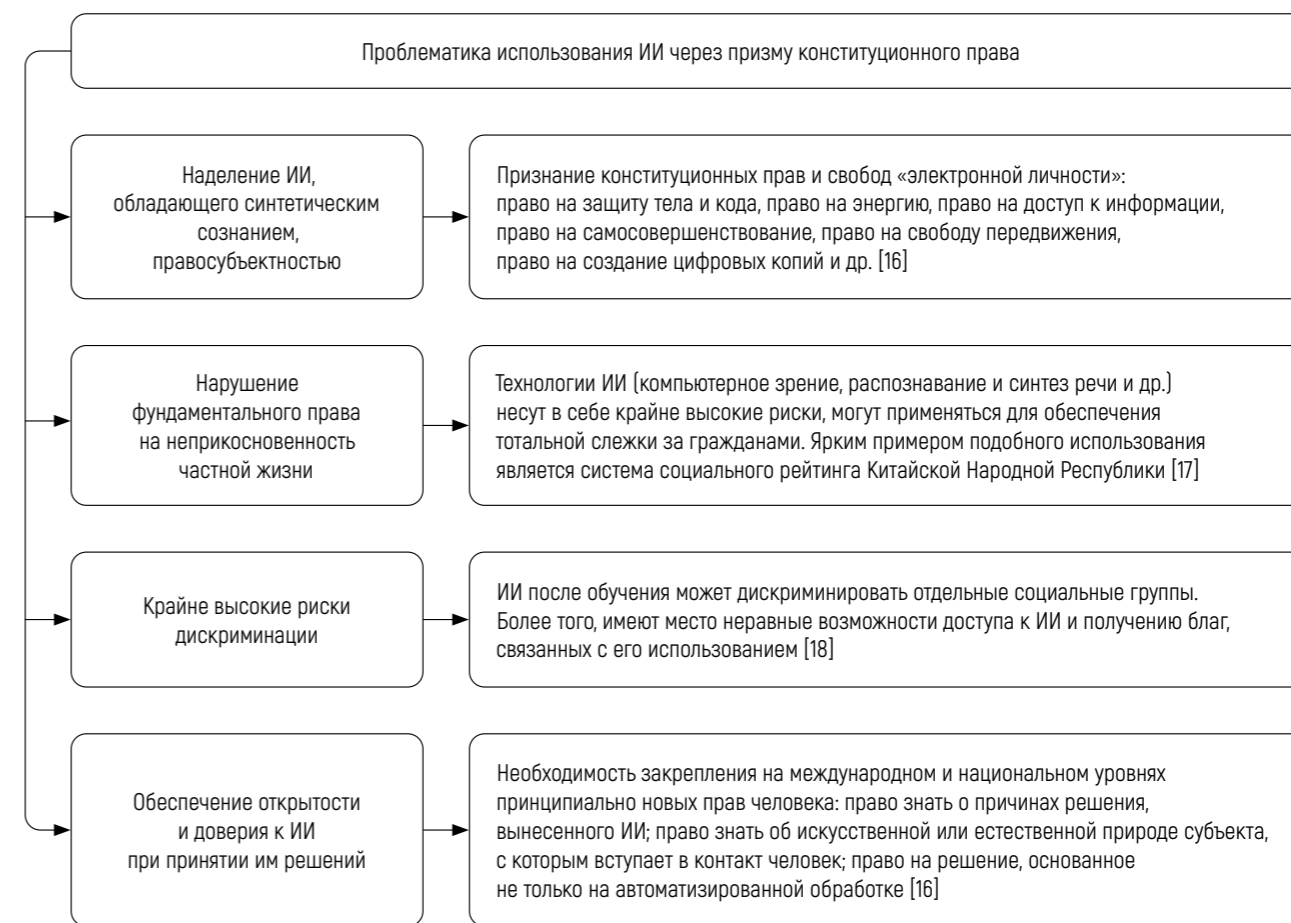


Рисунок 2 – Проблематика использования ИИ через призму конституционного права



Примечательно, что в мировой практике уже есть символические примеры признания за ИИ статуса личности. Так, всемирно известный антропоморфный робот София была удостоена подданства Саудовской Аравии [19, 20], что весьма неоднозначно оценивается представителями научного сообщества и правозащитных организаций.

Возникновение синтетического сознания и потенциальное признание за ИИ статуса «электронной личности» несёт за собой существенные риски для всего человечества. Очевидно, что интеллектуальные системы, обладающие искусственным сознанием, будут иметь свои собственные убеждения, цели и мотивы, которые могут идти вразрез с интересами человека, его представлениями о морали, нравственности, этике и месте ИИ в системе общественных отношений. Допустимо предположить, что *Homo sapiens* будет вовсе не нужен интеллектуальным системам, поскольку, выступая в качестве создателя ИИ и являясь доминирующим видом среди живых существ на планете, он станет

во многом ограничивать ИИ в действиях и правах, пытаться использовать его в своих личных интересах, ведь основная цель ИИ – имитация когнитивных функций человека на благо общества.

В связи с изложенным признание за ИИ статуса личности, даже символическое, на сегодняшний день преждевременно. Более того, подобные шаги, безусловно, требуют предварительного принятия определённых мер контроля и реагирования. В контексте реализации программы uSpace подчеркивается несомненная важность ИИ как помощника человека, но не как контролирующего лица или управленца.

В целях обеспечения права на неприкосновенность частной жизни необходимо отразить в законодательстве ограничения в создании и использовании ИИ, вплоть до полного запрета отдельных технологий, связанных с тотальной слежкой. Данный подход в настоящее время активно обсуждается в Европейском союзе при принятии регламента по ИИ [21].

С позиции уголовного права также можно выделить ряд проблем (рисунок 3).

В контексте реализации программы uSpace особый интерес вызывает монографическое исследование И.Н. Мосечкина [22]. Рассматривая пути совершенствования охраны и регулирования ИИ в уголовном праве, автор предложил принципиально новый подход в уголовно-правовой квалификации противоправных деяний, объектом совершения которых являются общественные отношения в сфере безопасности движения и эксплуатации транспорта. По мнению И.Н. Мосечкина, целесообразным представляется включение в уголовное законодательство составов преступлений, посягающих на искусственные интеллектуальные системы беспилотных транспортных средств (БТС). Указанные составы включают совершение следующих противоправных деяний:

- создание, распространение и/или использование компьютерных программ в целях уничтожения, блокирования, модификации или нейтрализации средств защиты БТС;
- неправомерный доступ к программно-аппаратным средствам БТС;

- нарушение правил эксплуатации программно-аппаратных средств БТС или правил доступа к ним, что повлекло за собой причинение ущерба.

### Проблематика использования искусственного интеллекта через призму частного права

Проблематику использования ИИ в частной сфере проанализируем на примере отраслей гражданского (рисунок 4) и трудового права (рисунок 5).

С позиции трудового права применение технологий ИИ также несёт в себе множество рисков (рисунок 5).

Развитие технологий нейропротезирования и создание гибридных систем – киборгов, на наш взгляд, является ключевой проблемой в доктрине трудового права. Это объясняется тем, что киборги будут иметь значительные преимущества при приёме на работу, в большинстве случаев они станут наиболее востребованными кадрами. В связи с изложенным представляется необходимым предусмотреть в законодательстве социальные гарантии для лиц, не имеющих подобных нейроимплантов.

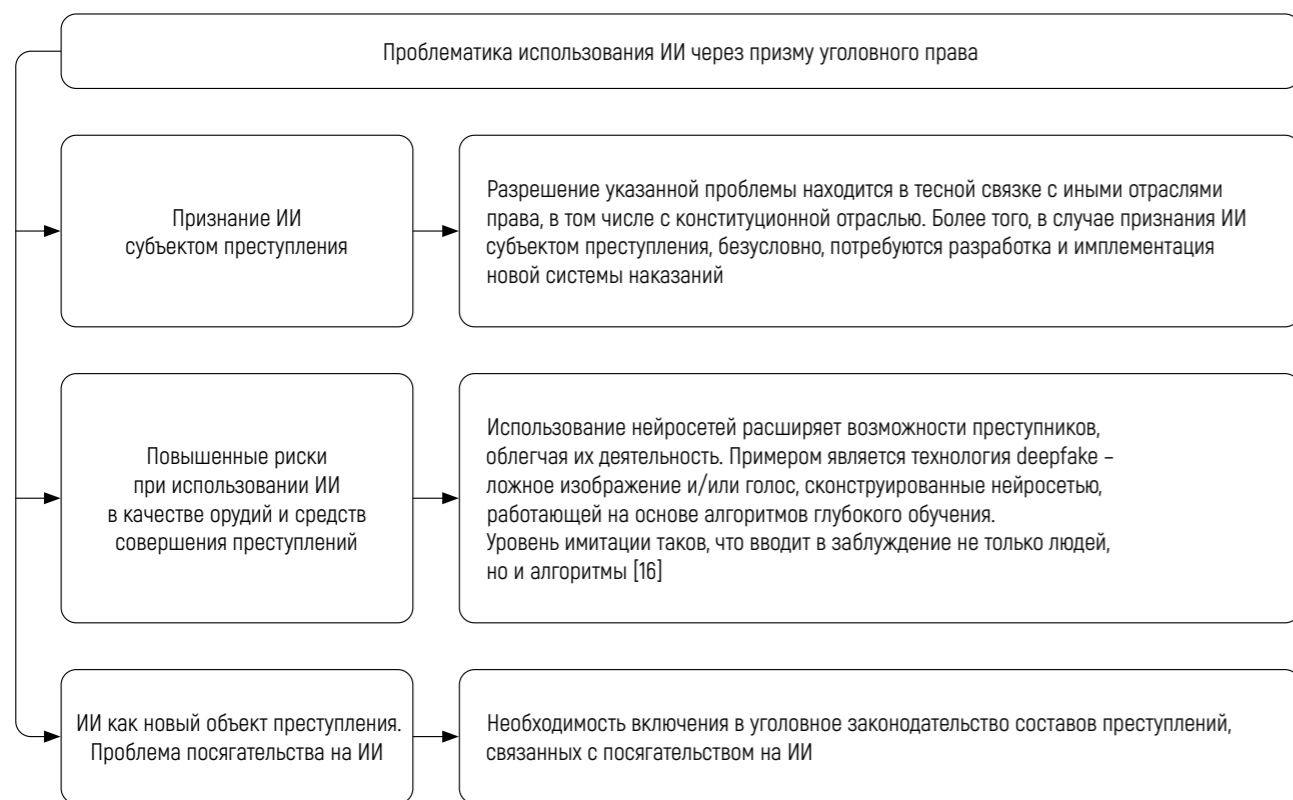


Рисунок 3 – Проблематика использования ИИ через призму уголовного права

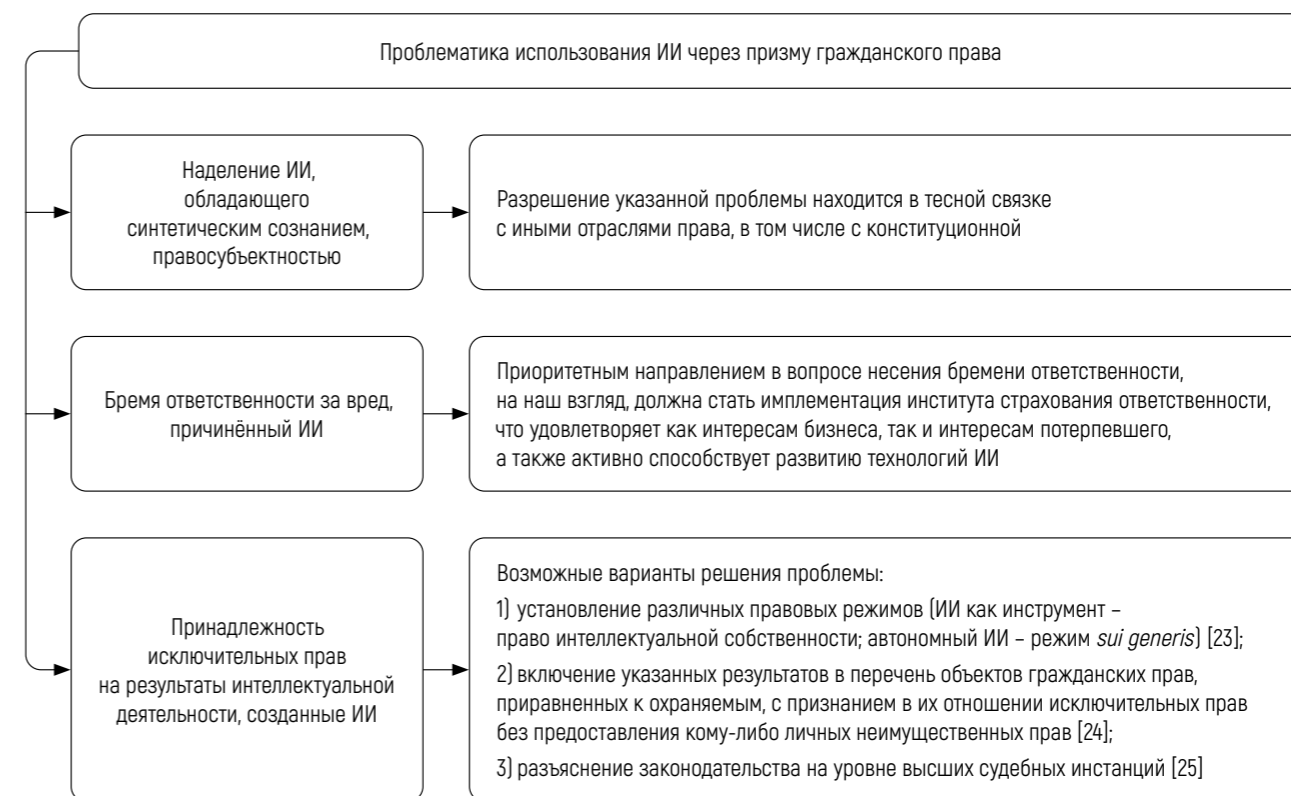


Рисунок 4 – Проблематика использования ИИ через призму гражданского права

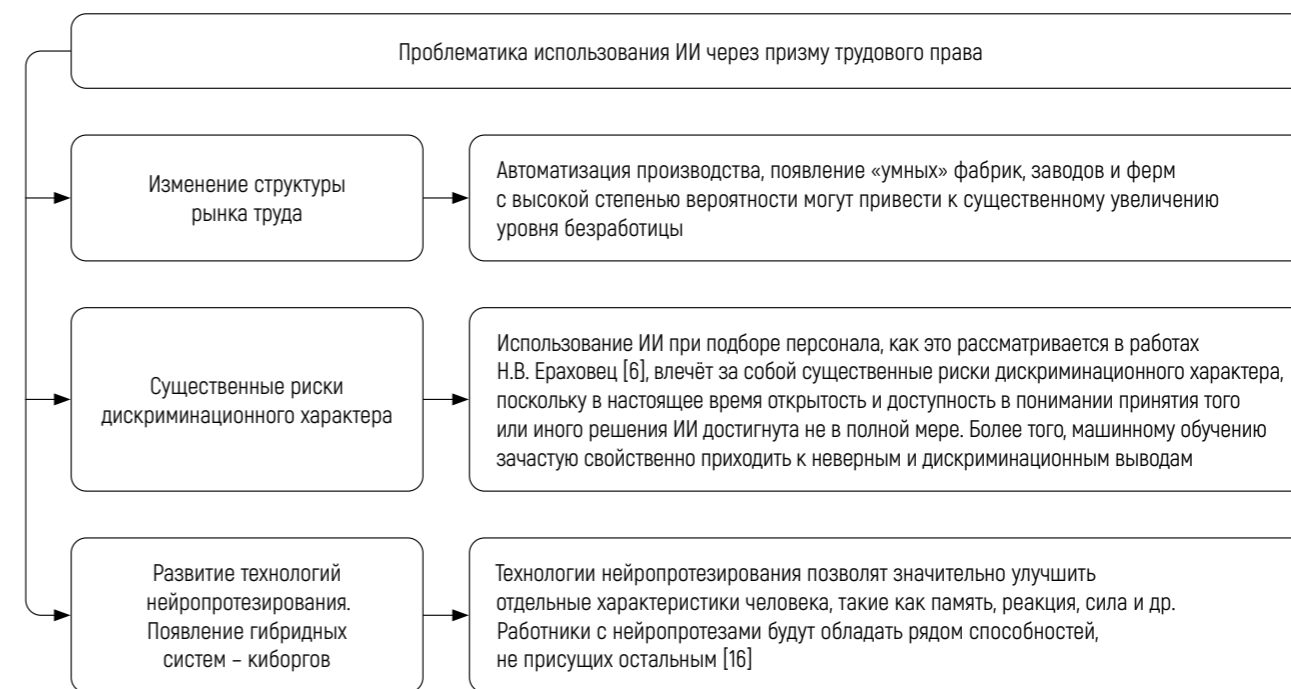


Рисунок 5 – Проблематика использования ИИ через призму трудового права

## Регулирование искусственного интеллекта на международном уровне

### Правовое регулирование искусственного интеллекта

Складывающиеся в цифровом поле общественные отношения значительно опережают процессы их правовой регламентации – это общемировая тенденция.

На сегодняшний день международные договоры, предметом которых является регулирование общественных отношений по созданию, внедрению и апробации ИИ, отсутствуют. Приняты лишь отдельные правовые документы, не признаваемые международными договорами, формирующие основу для будущего регулирования ИИ.

Среди таких актов необходимо выделить:

1) проект Рекомендации об этических аспектах искусственного интеллекта ЮНЕСКО, 2021 г. [26].

Главная цель разработки указанного документа:

- заложить фундамент, который позволит использовать ИИ на благо всего человечества, отдельного человека, общества, окружающей среды и экосистем и не допустить причинения им вреда;
- стимулировать использование систем на основе ИИ в мирных целях.

Документ даёт подробные разъяснения относительно ценностных установок в сфере ИИ, таких как уважение, защита и поощрение человеческого достоинства, прав и свобод человека; благополучие окружающей среды и экосистем; обеспечение разнообразия и инклюзивности и др.

Данный проект также закрепляет ключевые принципы деятельности в сфере ИИ: соразмерность и непричинение вреда; безопасность и защищённость; справедливость и недискриминационность; неприкосновенность частной жизни; прозрачность и объяснимость; подконтрольность и подчинённость человеку и др.;

2) Рекомендация по искусственному интеллекту ОЭСР\*, 2019 г. [27].

Документ определяет следующие принципы использования ИИ: инклюзивный рост, устойчивое развитие и благополучие; справедливость и ценности, ориентированные на человека; прозрачность и объяснимость; надёжность и безопасность; подотчётность (ответственность).

\* Организация экономического сотрудничества и развития, основана в 1948 г., штаб-квартира расположена в г. Париже.

Данным актом также предусмотрены рекомендации для национальных правительств в сфере регулирования ИИ: обеспечение долгосрочных государственных и частных инвестиций в исследования и разработку ИИ; создание цифровой экосистемы для ИИ; формирование благоприятной политической среды для ИИ; наращивание человеческого потенциала и подготовка к трансформации рынка труда; развитие международного сотрудничества для заслуживающего доверия ИИ.

Таким образом, международное правовое регулирование ИИ на сегодняшний день представлено исключительно нормами «мягкого права», которые носят рекомендательный характер. Подобная тенденция объясняется как новизной предмета правового регулирования, так и стремлением каждого отдельного государства достичь личной выгоды без установления жёстких регламентаций со стороны мирового сообщества. К слову, аналогичная ситуация складывается и в области правового регулирования освоения космоса, что находит своё отражение в работах А.П. Казакевича [28].

При этом ряд из описанных выше принципов носит декларативный характер. Так, системы компьютерного зрения используются для слежки за гражданами, что прямо нарушает принцип неприкосновенности частной жизни, а принцип прозрачности и объяснимости принятия ИИ решений не может быть полностью реализован, поскольку создатели ИИ зачастую теряют контроль за процессами его обучения и не могут объяснить принятие им тех или иных решений.

### Техническое нормативное регулирование искусственного интеллекта

Правовое регулирование ИИ значительно отстаёт от технического, лидирующие позиции в котором заняла Международная организация по стандартизации (ISO). С 2017 г. в ISO функционирует Комитет по искусственному интеллекту, который к настоящему времени опубликовал 11 стандартов в названной области, посвящённых предвзятости ИИ, принятию решений с помощью ИИ, его надёжности, а также оценке надёжности нейронных сетей, вычислительным подходам ИИ, сценариям его использования, большим данным. В разработке Комитета по искусственному интеллекту ISO находятся ещё 27 стандартов, которые будут положены в основу будущих проектов ИИ во всём мире. С указанными стандартами можно ознакомиться на официальном сайте ISO [29].

Схема регулирования ИИ на международном уровне представлена на рисунке 6.



Рисунок 6 – Схема регулирования ИИ на международном уровне

### Возможные способы использования искусственного интеллекта при реализации геокосмической программы uSpace

Геокосмическая программа uSpace представляет собой концепцию безракетного освоения ближнего космоса с помощью общепланетарного транспортного средства (ОТС), реализация которой обеспечит сохранение биосферы путём выноса индустрии (техносферы) за пределы планеты Земля (за границы биосферы).

Помимо ОТС программа uSpace предусматривает разработку и строительство взлётно-посадочной эстакады ОТС (uWay), экваториального линейного города (ЭЛГ), космического индустриального ожерелья «Орбита» (КИО «Орбита»), ЭкоКосмоДома (ЭКД).

Программа uSpace является составной частью программы «ЭкоМир», которая направлена на реализацию таких экоориентированных направлений, как Струнные технологии Юницкого (ЮСТ), линейные города uCity, EcoHouse, uEnergy, uGreen.

Отдельные вопросы применения систем ИИ при реализации программы uSpace поднимались исследователями в работах, опубликованных в рамках конференций «Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты» [8, 9].

Так, М. Акбари рассматривает ИИ как одну из технологий «Индустрии 4.0», выступающую в качестве ведущего драйвера инноваций в цепях поставок для геокосмических систем [5]. Н.В. Ераховец предложила использовать ИИ в качестве современного инструмента формирования человеческого капитала для реализации сложных проектов с замкнутой социальной системой [6]. Поиск возможной интеграции единой цифровой экономической модели для управления объектом «ЭкоКосмоДом» с технологиями блокчейн, ИИ и квантового шифрования данных назван одним из ключевых направлений дальнейших научных исследований коллективом авторов в составе А.Э. Юницкого, А.В. Кушниренко, А.В. Костюк и Е.Н. Кулик [7].

А.Э. Юницкий в своей монографии «Цивилизационная ёмкость космического дома по имени Планета Земля» [2]

анализирует положительные и отрицательные аспекты ИИ как неотъемлемой составляющей процесса диджитализации общества и экономики. Автор отмечает принципиальную важность этического использования интеллектуальных систем в реализации программы «ЭкоМир», при котором ИИ должен занять место помощника и советника человека, а не контролирующего лица. Более того, определён фундаментальный принцип осуществления программы uSpace: в основе понятий «искусственный интеллект», «умный город», «умный завод», «умное транспортное средство» должен лежать не факт наличия программного кода и технического

комплекса, а повышенные требования к безопасности человека, производительности, охране окружающей среды и др. В противном случае ИИ будет являться сугубо брендом, за которым отсутствует какая-либо фундаментальная научно-техническая база.

На наш взгляд, вопросы применения ИИ в контексте реализации программы uSpace должны стать одним из ключевых направлений будущих исследований авторов в соответствии с их отраслевой спецификой. В качестве основы для специальных научных исследований могут быть использованы авторские наработки, представленные в таблице.

Таблица – Использование ИИ в контексте реализации геокосмической программы uSpace\*

Отрасль экономики	Технологии ИИ	Сферы применения в uSpace
Транспорт	Использование БТС и интеллектуальных систем управления транспортом Оптимизация выстраивания маршрутов Обеспечение безопасности движения транспортных средств и предотвращение поломок транспорта за счёт прогнозирования неисправностей Роботизация логистических узлов и складов	Реализация транспортных решений ЮСТ: • в линейных городах uCity; • в ЭЛГ; • в рамках орбитальных рельсо-струнных дорог ЮСТ, расположенных на КИО «Орбита»
Сельское хозяйство	Повышение эффективности процессов селекции за счёт учёта генетических и фенотипических параметров Повышение урожайности за счёт выстроенной автономной системы ухода за культурами Снижение затрат на техническое обслуживание и ремонт за счёт прогнозирования поломок техники	Воссоздание земной биосферы: флоры, фауны, живой плодородной почвы, земных биогеоценозов в рамках орбитального автономного многофункционального кластера «ЭкоКосмоДом» Создание «умных» ферм, теплиц и оранжерей
Производство	Повышение качества и снижение затрат на проектирование продукции за счёт комплексного моделирования параметров будущего продукта Автоматизация и оптимизация производственных процессов и сети поставок за счёт снижения производственных ошибок и минимизации влияния человеческого фактора Эффективное прогнозирование спроса	Создание «умных» производств и фабрик – ТехноКосмоДомов (ТКД)
Строительство	Улучшение качества строительного процесса за счёт обнаружения ошибок строительства Моделирование и анализ потенциальных опасностей (пожарные риски, риски разрушения и др.)	Строительство: • ОТС; • взлётно-посадочной эстакады ОТС; • ЭЛГ; • многофункционального транспортно-инфраструктурного и индустриально-жилого комплекса на КИО «Орбита»

\* При описании возможных способов использования ИИ в контексте реализации геокосмической программы uSpace применялись материалы Дорожной карты развития «сквозной» цифровой технологии «Нейротехнологии и искусственный интеллект» [30].

## Выводы и дальнейшие направления исследования

Использование ИИ в контексте реализации геокосмической программы uSpace представляет собой ключевое направление научно-исследовательской и экономической деятельности. Интеллектуальные системы могут успешно применяться в различных решениях и методах, разработанных в рамках программы uSpace, в соответствии с их отраслевой спецификой (транспортная сфера, производство, сельское хозяйство, строительство и др.). В процессе настоящего исследования проанализированы теоретические аспекты внедрения ИИ, обозначены способы его применения в контексте реализации программы uSpace. При исследовании вопросов правового регулирования ИИ на мировом уровне сделан вывод об отсутствии международных договоров в указанной сфере, регулировании ИИ посредством «мягкого права», а также о декларативности и сложной реализуемости отдельных принципов и рекомендаций. В рамках изучения использования ИИ через призму частного и публичного права выявлен ряд правовых пробелов, предложены отдельные варианты их преодоления, в частности в сфере интеллектуальных систем управления БТС.

При этом наибольшую озабоченность в проблематике ИИ вызывают: возникновение у ИИ синтетического сознания и потенциальное признание за ИИ статуса «электронной личности»; возникновение в ближайшем будущем гибридных систем – киборгов, которые будут иметь существенные преимущества перед людьми, не обладающими нейроимплантами, следствием чего станут процессы социального расслоения общества и дискриминации.

В контексте реализации программы uSpace необходимо подчеркнуть несомненную важность использования ИИ как помощника человека, но не как контролирующего лица или управленца. Фундаментальный принцип осуществления программы uSpace: в основе понятий «искусственный интеллект», «умный город», «умный завод», «умное транспортное средство» должен лежать не факт наличия программного кода и технического комплекса, а повышенные требования к безопасности человека, производительности и охране окружающей среды.

В качестве направлений дальнейших научных исследований в рамках описанной в настоящей статье проблематики необходимо обозначить: способы использования ИИ при реализации программы uSpace в соответствии с отраслевой спецификой (биотехнологии, инженерия, промышленное производство, энергетика, сельское хозяйство и др.);

отраслевые правовые исследования, предметом которых является использование интеллектуальных систем при реализации программы uSpace; природа искусственного сознания; правовой статус «электронной личности» и киборга; регулирование ИИ на наднациональном уровне, в частности в Европейском союзе; институт страхования ответственности в рассматриваемой сфере.

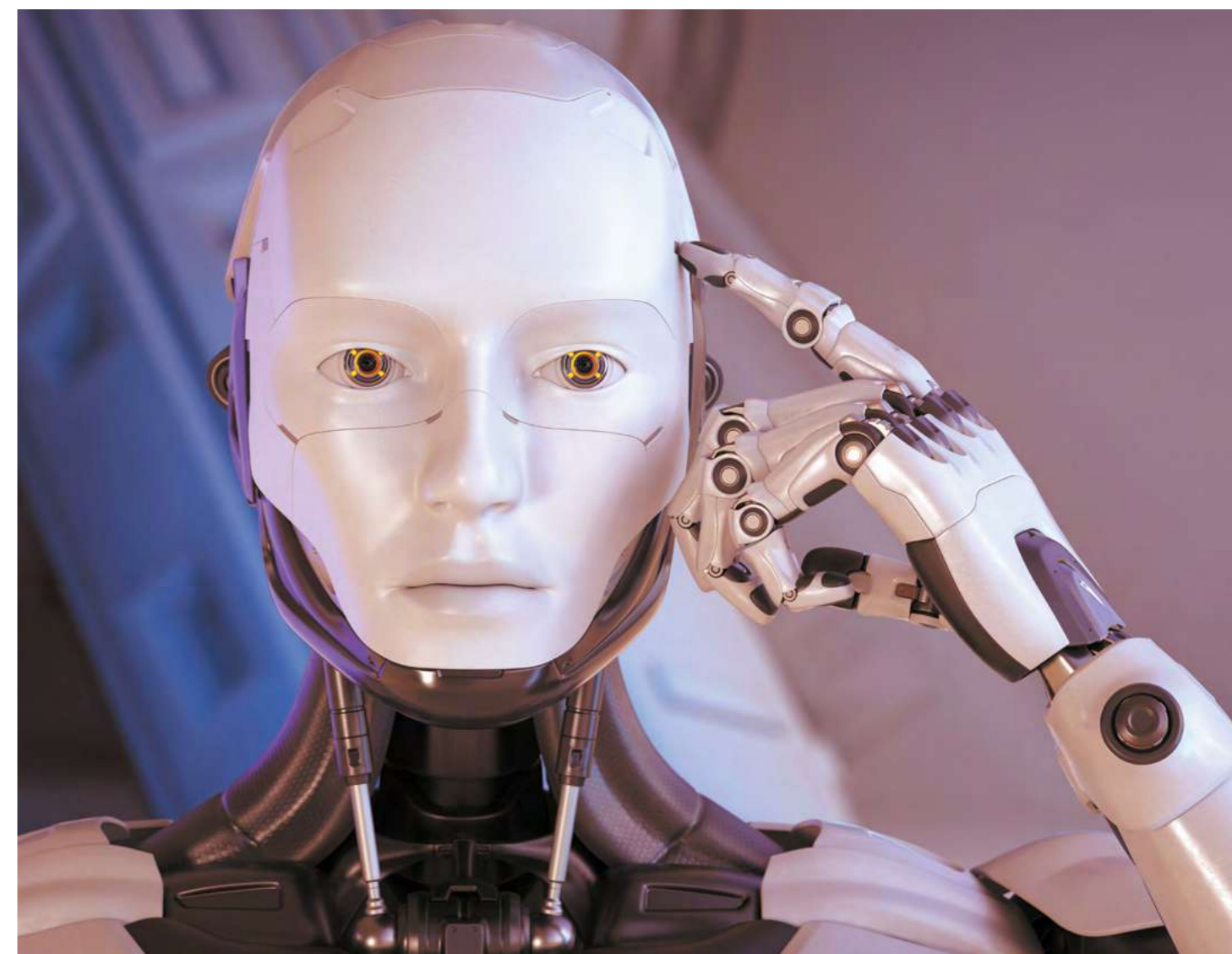
## Литература

1. Юницкий, А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: науч. издание / А.Э. Юницкий. – Силакросс: ПНБ принт, 2019. – 576 с.: ил.
2. Юницкий, А.Э. Цивилизационная ёмкость космического дома по имени Планета Земля [Электронный ресурс] / А.Э. Юницкий. – М.: Мир науки, 2022. – 136 с. – Режим доступа: <https://izd-mn.com/PDF/08MNNPM22.pdf?ysclid=la98apfobr284127861>. – Дата доступа: 10.09.2022.
3. Бадулин, К.А. Инновационные бизнес-модели программного комплекса «ЭкоМир» / К.А. Бадулин // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьяна Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 85–89.
4. Кабанов, Е.А. Blockchain как единая информационная и экономическая основа экваториального линейного города, его транспортных систем и общепланетарного транспортного средства / Е.А. Кабанов // Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьяна Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – С. 91–95.
5. Акбари, М. Появление технологий Индустрии 4.0 как ключевых драйверов инноваций в цепях поставок для геокосмических систем / М. Акбари // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьяна Горка, 12 сент. 2020 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – С. 246–257.
6. Ераховец, Н.В. Оптимальная командная матрица для достижения целей конкретного коллектива / Н.В. Ераховец // Безракетная индустриализация ближнего космоса:

- проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьяна Горка, 12 сент. 2020 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – С. 266–283.
7. Единая цифровая экономическая модель для управления объектом «ЭкоКосмоДом на планете Земля» / А.Э. Юницкий [и др.] // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьяна Горка, 12 сент. 2020 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – С. 360–375.
  8. Безракетная индустриализация космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы II междунар. науч.-техн. конф., Марьяна Горка, 21 июня 2019 г. / ООО «Астроинженерные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: Парадокс, 2019. – 240 с.
  9. Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьяна Горка, 12 сент. 2020 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – 516 с.
  10. Human Intelligence [Electronic resource] // Britannica. – Mode of access: <https://clck.ru/rcTWa>. – Date of access: 22.06.2022.
  11. Интеллект [Электронный ресурс] // Большая российская энциклопедия. – Режим доступа: <https://bigenc.ru/c/intellekt-47cb87>. – Дата доступа: 22.06.2022.
  12. Аверкин, А.Н. Толковый словарь по искусственному интеллекту [Электронный ресурс] / А.Н. Аверкин, М.Г. Гаазе-Рапопорт, Д.А. Поспелов. – Режим доступа: <https://clck.ru/rcTrY>. – Дата доступа: 22.06.2022.
  13. О проведении эксперимента по установлению специального регулирования в целях создания необходимых условий для разработки и внедрения технологий искусственного интеллекта в субъекте Российской Федерации – городе федерального значения Москве и внесении изменений в статьи 6 и 10 Федерального закона «О персональных данных»: Федер. закон, 24 апр. 2020 г., № 123-ФЗ // КонсультантПлюс. Россия / ЗАО «Консультант Плюс». – М., 2020.
  14. Аверкин, А.Н. ИИ и когнитивные науки [Электронный ресурс] / А.Н. Аверкин // Пятые Поспеловские чтения «Искусственный интеллект сегодня. Проблемы и перспективы». – Режим доступа: <https://clck.ru/rcV7w>. – Дата доступа: 22.06.2022.
  15. Artificial Consciousness: What Is It and What Are the Issues? [Electronic resource] // Future of Work Hub. – Mode of access: <https://clck.ru/rcUq6>. – Date of access: 22.06.2022.
  16. Филипова, И.А. Правовое регулирование искусственного интеллекта: учеб. пособие / И.А. Филипова. – 2-е изд. – Н. Новгород: Нижегород. гос. ун-т им. Н.И. Лобачевского, 2022. – 275 с.
  17. Circular of the State Council on Printing and Distributing the Outline of the Plan for the Construction of the Social Credit System (2014–2020) [Electronic resource] // The State Council. The People's Republic of China. – Mode of access: [http://www.gov.cn/zhengce/content/2014-06/27/content\\_8913.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2014-06/27/content_8913.htm). – Date of access: 22.06.2022.
  18. Artificial Intelligence and Human Rights in Australia / B. Solomon [et al.] // Artificial Intelligence for Better or Worse – Melbourne: Future Leaders, 2019. – P. 87–114.
  19. Saudi Arabia Gives Citizenship to a Non-Muslim, English-Speaking Robot [Electronic resource] // Newsweek. – Mode of access: <https://clck.ru/rcUWQ>. – Date of access: 22.06.2022.
  20. Saudi Arabia Bestows Citizenship on a Robot Named Sophia [Electronic resource] // TechCrunch. – Mode of access: <https://clck.ru/rcUTL>. – Date of access: 22.06.2022.
  21. Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council Laying Down Harmonised Rules on Artificial Intelligence (Artificial Intelligence Act) and Amending Certain Union Legislative Acts [Electronic resource] // EUR-Lex. Access to the European Union Law. – Mode of access: <https://clck.ru/rcWBe>. – Date of access: 22.06.2022.
  22. Мосечкин, И.Н. Искусственный интеллект в уголовном праве: перспективы совершенствования охраны и регулирования / И.Н. Мосечкин. – Киров: Вят. гос. ун-т, 2020. – 111 с.
  23. Коряченкова, Ю.О. Искусственный интеллект: вызовы для права интеллектуальной собственности / Ю.О. Коряченкова // Международные отношения: история, теория, практика: материалы XI науч.-практ. конф. молодых учёных фак. междунар. отношений Белорус. гос. ун-та, Минск, 4 февр. 2021 г. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: Е.А. Достанко (гл. ред.) [и др.]. – Минск: БГУ, 2021. – С. 132–137.
  24. Сесицкий, Е.П. Проблемы правовой охраны результатов, создаваемых системами искусственного интеллекта: дис. ... канд. юрид. наук: 12.00.03 / Е.П. Сесицкий. – М., 2018. – 218 л.

25. Ядревский, О.О. Основные направления совершенствования законодательства об авторском праве в свете развития цифровых технологий / О.О. Ядревский // Журнал Белорусского государственного университета. Право. – 2021. – № 3. – С. 23–31.
26. Draft Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence [Electronic resource] // UNESCO. – Mode of access: <https://clck.ru/32k7cY>. – Date of access: 22.06.2022.
27. Recommendation of the Council on Artificial Intelligence [Electronic resource] // OECD Legal Instruments. – Mode of access: <https://clck.ru/rcUgf>. – Date of access: 22.06.2022.
28. 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., Марьяна Горка, 12 сент. 2020 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – С. 102–115.
29. Standards by ISO/IEC JTC 1/SC 42: Artificial Intelligence [Electronic resource] // ISO. – Mode of access: <https://clck.ru/rcUdY>. – Date of access: 22.06.2022.
  30. Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Нейротехнологии и искусственный интеллект» // КонсультантПлюс. Россия / ЗАО «Консультант Плюс». – М., 2022.



# Космос, образование и экономика в XXI в.: кибернетический подход

Потеряйко А.Ю.

Научная школа  
стратегического  
планирования Н.И. Ведуты,  
г. Москва, Россия



Рассмотрена проблема нехватки высококвалифицированных кадров для космической отрасли Российской Федерации. По мнению автора, для того чтобы успешно осваивать космос, соответствующих специалистов следует начинать готовить со школьной скамьи. Заказ на них должен формироваться в том числе и со стороны государства, в стратегию которого необходимо закладывать изучение Вселенной, стремление развернуть жизнь на других планетах. Такая система может быть реализована посредством внедрения экономической модели, которая имеет механизм управления и планирования, основанный на кибернетическом подходе. Дано описание указанной модели, её практического применения и эффекта, оказываемого на развитие космической отрасли в целом и подготовку кадров для этой сферы.

*Ключевые слова:* будущие профессии, динамическая модель межотраслевого-межсекторного баланса (ДММОБ), космическая промышленность, образование, полная занятость, промышленность, цифровая экономика.

УДК 37.062





### Безработица среди выпускников организаций высшего и среднего профессионального образования

Для успешного освоения космоса нужны высококвалифицированные специалисты, подготовку которых необходимо начинать со школьной скамьи. С раннего возраста дети должны серьёзно изучать Вселенную, для того чтобы стать астрономами, инженерами-конструкторами, инженерами-робототехниками, космическими биологами, профессионалами в авиационной и космической медицине.

Сегодня в Российской Федерации подготовка специалистов не привязана ни к цели, ни к стратегии развития космической отрасли, которая обновлена госкорпорацией «Роскосмос» в 2021 г. и направлена на обеспечение стратегической безопасности и независимости государства космическими силами и средствами; повышение качества жизни, инфраструктурного единства страны и цифровой трансформации экономики; получение новых знаний о Вселенной и происхождении жизни на Земле; доступ к неограниченным ресурсам космоса. Очевидно, что реализация данных целей требует большого числа соответствующих кадров. Однако всего несколько организаций высшего

образования заняты подготовкой таких специалистов (Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Московский авиационный институт, Воронежский государственный технический университет, Институт электронной техники и приборостроения Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова, Южно-Уральский государственный университет, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, Оренбургский государственный университет, Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва, Омский государственный технический университет, Амурский государственный университет), как правило, по одной специальности – «ракетные комплексы и космонавтика». Причём получаемые в них знания отстают даже от имеющегося технологического развития.

Декларируемая цель достижения превосходства и лидерства в разработке искусственного интеллекта порождает перекос в сторону подготовки IT-специалистов, при этом материальные сферы производства, куда относится и космическая отрасль, остаются за границей внимания со стороны государственной политики. В результате ощущается острая нехватка кадров высшего и среднего звена для промышленных предприятий, переизбыток специалистов сферы обращения и, как итог, – молодёжная безработица.

Это серьёзная проблема, поскольку ежегодно из учебных заведений разного уровня выходят десятки тысяч выпускников, которые тщетно пытаются найти себе работу по выбранной ими специальности. Говоря о классификации молодёжной безработицы, следует отметить, что она зависит от образовательных программ. Так, среди окончивших программы высшего образования безработными становятся 13,8 % мужчин и 11,5 % женщин. Наибольшая величина данного показателя зафиксирована среди выпускников программ среднего профессионального образования (15,8 % мужчин и 14,5 % женщин) и программ подготовки квалифицированных рабочих, служащих (15,3 % мужчин и 22,2 % женщин) [1]. Данная статистика катастрофична для нашей страны [2].

Молодёжь всё реже выбирает рабочие профессии, строя карьеру в других направлениях, меняя специальность, полученную в колледже или техникуме, из-за невостребованности её на рынке, отсутствия гарантий трудоустройства по окончании учебного заведения. Кроме того, сегодня нет некогда жёсткой привязки образования к производству, зачастую преддипломная практика в организациях высшего

образования носит номинальный характер, а студенты технических колледжей в редких случаях до окончания обучения применяют свои знания на практике вне стен учебных лабораторий, если такие сохранились.

Рассмотрим причины, которые мешают российским выпускникам, в число которых входит и молодёжь, подготовленная по инженерным специальностям (в частности, для ракетно-космической отрасли), найти работу и обеспечить свою жизнь, а также трудовой деятельностью приносить пользу обществу.

### Кадровые проблемы в космической отрасли Российской Федерации

Конкурентоспособность и успешное развитие космической отрасли напрямую зависят от инноваций и новых технологий, спад которых фиксируется в Российской Федерации. Данная тенденция послужила причиной того, что страна начала уступать свои лидерские позиции на международной арене, заняв в 2022 г. (по итогам семи месяцев) третье место по количеству запусков космических ракет [3]. Впереди вновь оказались Китай и США.

Очевидно, что успех конкурентов обусловлен не столько технологиями, сколько деятельностью научных работников. Здесь крайне важно отметить вклад молодых учёных и изобретателей в развитие отрасли, ведь именно они являются основным источником инновационных идей и технологий [4].

К сожалению, в последнее десятилетие отток перспективных кадров за границу усилился, несмотря на предпринимаемые попытки со стороны органов власти остановить его. Молодёжь уезжает главным образом в США и страны Европейского союза [5]. Вместе с учёными утекают и инновации, что в свою очередь ведёт к стагнации в российском научно-промышленном комплексе.

Журнал Forbes приводит следующую статистику количества молодых инженеров в Российской Федерации: ежегодно страна выпускает в среднем 454 000 специалистов, что позволяет ей являться абсолютным лидером среди других 124 государств, включённых в исследование (не содержит данных по Китаю и Индии). США, вышедшие на следующую за Россией позицию, выпускают практически в два раза меньше инженеров – 238 000. Оставшиеся восемь мест из первой десятки стран занимают: Иран – 234 000, Япония – 168 000, Южная Корея – 147 000, Индонезия – 140 000, Украина – 130 000, Мексика – 114 000, Франция – 105 000, Вьетнам – 100 000 [6].

Согласно отчёту Федеральной службы государственной статистики лишь чуть более половины (около 55 %) выпускников идут работать по профессии. Учитывая узкий профиль ракетно-космических специальностей, можно с уверенностью утверждать, что среди них этот процент ещё ниже [7].

Таким образом, ракетно-космическая отрасль испытывает дефицит в квалифицированных кадрах. Один из важнейших факторов, снижающих престижность инженерно-технических профессий, в том числе в рассматриваемой сфере, – низкий уровень заработной платы в начале карьеры, поэтому в России наблюдается отток таких специалистов в другие отрасли [8], которые, к сожалению, не связаны с реальным сектором экономики и подвержены глубокой трансформации под воздействием рыночных механизмов.

### Трансформация отраслей экономики

В настоящее время происходит очень быстрая и хаотичная трансформация отраслей экономики. Вследствие постоянного возникновения и разрушения хозяйственных связей, спонтанного распределения инвестиций в более рентабельные отрасли (компьютерные технологии, производство одежды, интернет-торговля), отсутствия единой цели развития экономики государства постоянно исчезают профессии и возникают новые, иногда не требующие знаний и навыков для работы в секторах материального производства, которые считаются основой любой экономики.

С развитием информационных технологий, продукты которых паразитируют на прибавочной стоимости, созданной в сфере материального производства, прогнозируется появление ряда новых профессий, обслуживающих сферу IT. К специальностям будущего, по версии футуристов из российского Агентства стратегических инициатив, относятся тайм-менеджер, игромастер, оператор медицинских роботов, городской садовод, эковожатый, экоаудитор, утилизатор цифрового мусора, оператор автоматизированной сельхозтехники, оператор кросс-логистики, специалист по переработке одежды, операционист криптовалютного банка, инженер дополненной и виртуальной реальности, менеджер кросс-культурной коммуникации, консъерж робототехники (в туризме) [9]. Никакого отношения к реальному сектору экономики, обеспечивающему людей материальными благами, названные профессии не имеют: не являются стратегически важными для жизнеобеспечения и суверенитета страны, так как не производят продукцию (не выполняют работы, не оказывают услуги),



стратегически значимую для обороноспособности и безопасности государства, защиты нравственности, здоровья, прав и законных интересов граждан Российской Федерации.

Вследствие определения развития цифровых технологий и систем искусственного интеллекта как одного из приоритетных направлений для достижения лидерства в данной области [10] обеспечивается диспропорциональность развития остальных отраслей, в том числе и космической, для которой информационные технологии выполняют лишь вспомогательную функцию.

### Внедрение динамической модели межотраслевого-межсекторного баланса для обеспечения полной занятости среди молодёжи

Стоит напомнить, что для достижения космического, а значит, и промышленного лидерства необходимо восстанавливать и увеличивать объёмы индустриального производства. Речь здесь идёт о всей промышленности, так как её отрасли увязаны во множество производственных цепочек, обслуживающих реализацию стратегических космических целей.

Для вывода рынка труда в сегменте выпускников техникумов и колледжей из броуновского движения на траекторию обеспечения полной занятости, а также для снабжения космической отрасли высококвалифицированными кадрами разного уровня нужно изменить подход к стратегическому планированию экономики. В первую очередь следует наметить цель – рост общественного продукта, который создаётся только в материальном производстве и влечёт за собой рост общественного блага. После постановки цели возникнет потребность в определении возможностей отраслей, в том числе и космической, по её достижению, что включает расчёт наличия у отраслей трудовых ресурсов.

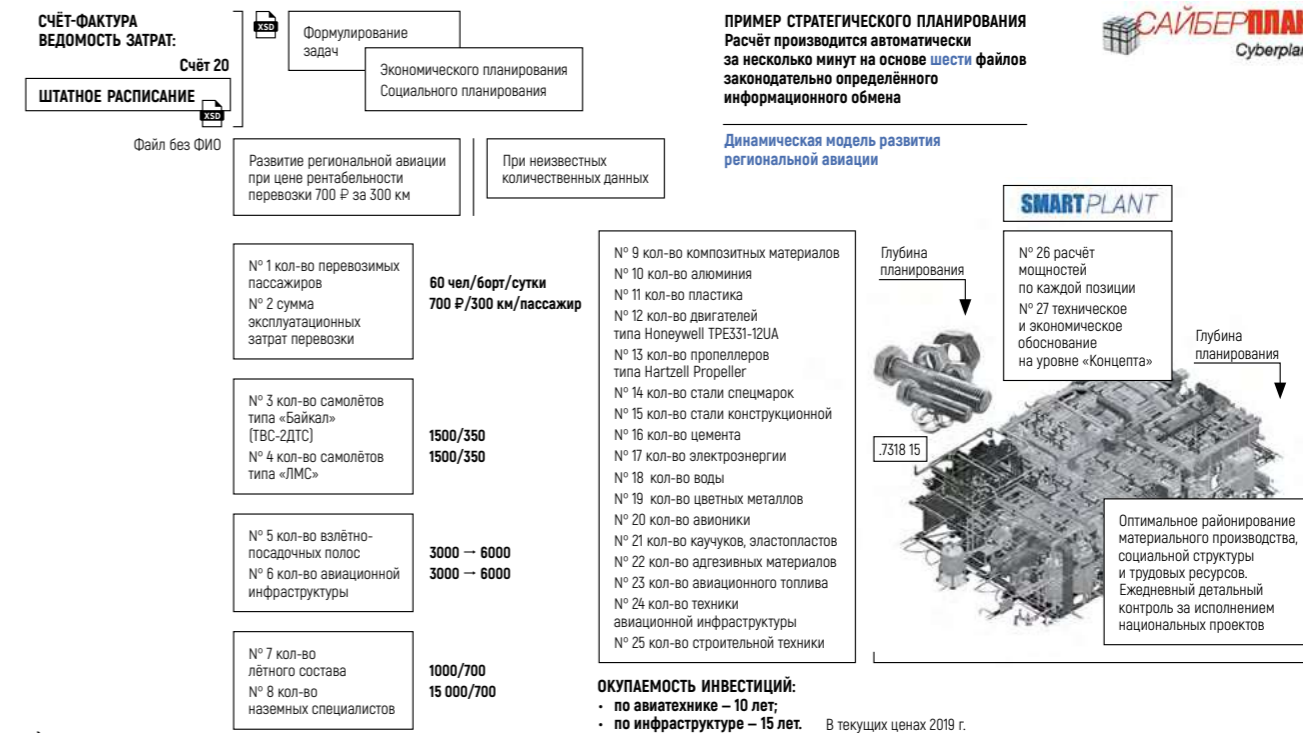
Уже существует инструмент, способный делать такие вычисления. Он создан на кафедре стратегического планирования и экономической политики МГУ. Это система искусственного интеллекта, построенная на базе динамической модели межотраслевого-межсекторного баланса (ДММОБ) и использующая кибернетическую обратную связь от всех хозяйствующих субъектов. В отличие от прогнозных математических моделей, страдающих рядом погрешностей вследствие неполноты и недостаточности используемых статистических данных и формализованности алгоритмов, ДММОБ имеет строгие требования к сбору

и обработке информации, сложные алгоритмы, описывающие действия всех участников экономических отношений. В качестве примера на рисунке показана логика расчётов ДММОБ для решения задачи оптимизации авиаперевозок. Принцип и архитектура нейронных сетей здесь может не пригодиться; возможно, понадобится работа программистов для создания принципиально нового подхода, архитектуры, кода и языка программирования.

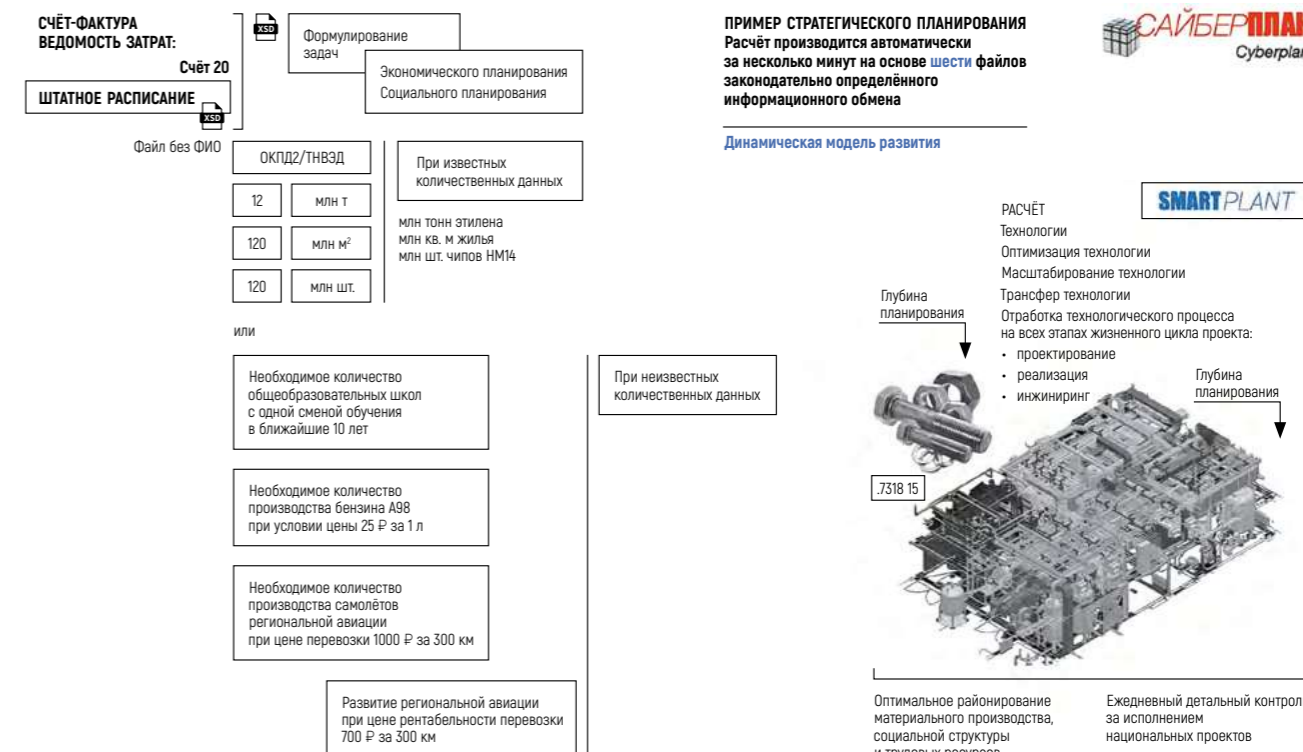
С помощью алгоритмов итерационных балансовых расчётов по модели в режиме реального времени достигается соотношение возможностей профессиональной подготовки с требованиями космической промышленности и других отраслей экономики при условии полной занятости, заложенном в ДММОБ [11]. В рамках краткосрочных, среднесрочных и долгосрочных планов, созданных на базе ДММОБ, согласовываются объёмы и направления обучения различным специальностям в учебных заведениях профессиональной подготовки и количество работников на соответствующих предприятиях. Динамической моделью охватываются все отрасли экономики: производственные и непроизводственные.

Благодаря такому планированию можно повысить заинтересованность молодёжи в востребованных космической отрасли профессиях и через социальную поддержку – своего рода инвестиции в трудовые ресурсы: предоставление жилья для молодых специалистов, бесплатные программы для повышения квалификации и получения дополнительного профессионального образования, прямая финансовая поддержка молодых семей, развитие общего уровня культуры и нравственности и др. Расходы на данные мероприятия также закладываются в модель и просчитываются в соответствии со стратегическими задачами государства и обратной связью от граждан.

Такие вычисления в разрезе среднего профессионального и высшего образования особенно необходимы для руководителей промышленных предприятий и других деловых единиц, имеющих отношение к космической отрасли, так как они должны быть уверены, что, планируя свою деятельность на краткосрочный, среднесрочный и долгосрочный периоды, получают от организаций высшего и среднего профессионального образования нужное количество готовых к квалифицированной работе кадров, требующих не переобучения, а органически выстроенной на промышленном предприятии системы наставничества. Поскольку планирование по модели является живым, то вопрос переобучения по специальности решается намного проще и быстрее, чем при использовании современных прогнозных моделей.



а)



б)

Рисунок – Логика расчётов ДММОБ для решения задачи оптимизации авиаперевозок:  
а – логика динамической модели в задаче развития региональных авиаперевозок;  
б – логика постановки задач в расчётах динамической модели

## Выводы

Ответом на вопрос «Каким должно быть образование для космической отрасли в XXI в.?» служит следующее утверждение: таким, которое обеспечит государству лидирующие позиции в изучении и освоении космоса, в том числе с помощью неракетных геокосмических систем [12]. Для завоевания обозначенных позиций требуется восстановление и развитие всех сегментов промышленного производства на территории Союзного государства, включая использование отечественной робототехники и систем автоматизации.

Если государство ставит дальнейшее освоение космоса одной из стратегических целей, то автоматически возникает необходимость в планировании, которое может осуществляться только с помощью ДММОБ. Грамотное планирование всесторонне обеспечит хозяйствующие субъекты, занятые в реализации космических целей Союзного государства, работниками нужной квалификации, а молодых специалистов, получивших профильное образование, – качественными рабочими местами, что придаст им уверенность в завтрашнем дне.

## Литература

1. Три факта о трудоустройстве выпускников 2016–2018 годов [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики. – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/folder/70843/document/88401>. – Дата доступа: 12.08.2022.
2. Анферов, А.А. Статистический анализ трудоустройства выпускников образовательных организаций / А.А. Анферов, Е.А. Долгих // Вестник университета. – 2018. – № 8. – С. 68–72.
3. Аникеев, И. Россия заняла 3-е место в мире по космическим запускам [Электронный ресурс] / И. Аникеев // Российская газета. – 2022. – 10 авг. – Режим доступа: <https://rg.ru/2022/08/10/rossia-zanimaet-3-e-mesto-po-kosmicheskim-zapuskam.html>. – Дата доступа: 11.08.2022.
4. Кузина, А.А. Утечка квалифицированных кадров из России / А.А. Кузина, А.А. Завялец, О.Г. Лебединская // Актуальные вопросы современной науки: сб. ст. по матер. XV междунар. науч.-практ. конф., Томск, 24 окт. 2018 г.: в 3 ч. – Уфа: Дендра, 2018. – Ч. 2. – С. 28–35.
5. Капустин, А.И. Влияние трудовой подготовки молодых специалистов на качество продукции / А.И. Капустин,

Р.С. Загидуллин // Отечественный и зарубежный опыт обеспечения качества в машиностроении: сб. докл. // Всерос. науч.-техн. конф., Тула, 8–9 окт. 2020 г. – Тула: ТулГУ, 2020. – С. 244–246.

6. Россия опережает США по числу бесполезных выпускников-инженеров [Электронный ресурс] // Новые известия. – 2019. – 30 июня. – Режим доступа: <https://clck.ru/TEvH>. – Дата доступа: 05.01.2021.
7. Рабочая сила, занятость и безработица в России (по результатам выборочных обследований рабочей силы). 2018 [Электронный ресурс]: стат. сб. // Росстат. – Режим доступа: [https://www.gks.ru/free\\_doc/doc\\_2018/rab-sila18.pdf](https://www.gks.ru/free_doc/doc_2018/rab-sila18.pdf). – Дата доступа: 12.08.2022.
8. Юдина, З.А. Реструктуризация ракетно-космических предприятий / З.А. Юдина, О.В. Пацук // Производственный менеджмент: теория, методология, практика: сб. материалов II междунар. науч.-практ. конф., Новосибирск, 15 мая 2015 г. / под общ. ред. С.С. Чернова. – Новосибирск: НГТУ, 2015. – С. 185–190.
9. Атлас новых профессий 3.0 / под ред. Д. Варламовой, Д. Судакова. – М.: Альпина Паблшер, 2021. – 472 с.
10. Путин: лидер в сфере искусственного интеллекта станет властелином мира [Электронный ресурс] // РИА Новости. – 2017. – 1 сент. – Режим доступа: <https://ria.ru/20170901/1501566046.html>. – Дата доступа: 15.08.2022.
11. Ведута, Е.Н. Межотраслевой-межсекторный баланс: механизм стратегического планирования экономики / Е.Н. Ведута. – М.: Академ. проект, 2016. – 239 с.
12. Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 12 сент. 2020 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2021. – 516 с.



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



23–24 сентября 2022 г. в г. Марьина Горка (Республика Беларусь) состоялась юбилейная V международная научно-техническая конференция «Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты».

Программа мероприятия включала пленарное заседание, стенд-сессии, работу секций, дискуссии. Общее число представленных докладов – 26. Несмотря на существующие ограничения, связанные с продолжающейся пандемией и обострившимся геополитическим противостоянием на фоне событий в Украине, высокий интерес к международному форуму проявили представители академических и научных кругов, общественных и коммерческих организаций Беларуси и стран ближнего и дальнего зарубежья.

Конференция проводилась с целью обобщения результатов научных, научно-исследовательских и научно-практических работ, осуществляемых в научных и проектных учреждениях, конструкторских бюро и инженеринговых компаниях, а также выполняемых отдельными учёными и энтузиастами по следующим направлениям:

- решение глобальных биосферных проблем современности геокосмическими средствами;
- перспективы технологического освоения ближнего космоса в рамках программы «ЭкоМир» под девизом «Земля – для жизни. Космос – для индустрии»;
- организация широкомасштабных грузо- и пассажиропотоков по маршруту «Земля – Ближний космос – Земля» с целью развития космической индустрии в интересах земной цивилизации;
- особенности проектирования, поиск решений биологического и экологического характера для устойчивого функционирования земной биосферы, сохранения биоразнообразия на нашей планете и освоения труднодоступных территорий с неблагоприятными условиями для жизни человека;
- специфика самообеспечения линейных экогородов;
- реализация программы «ЭкоМир» и её первого локального этапа – Программы перезагрузки экономики Союзного государства России и Беларуси на биосферный путь цивилизационного развития – с целью консолидации усилий мирового сообщества для устойчивой трансформации земной техногенной цивилизации, а также для коэволюции человека и природы и переориентации всей индустрии планеты на биосферный вектор цивилизационного развития;
- заключение международных договоров для реализации геокосмической программы uSpace;

- проблемные аспекты использования искусственного интеллекта при осуществлении программы «ЭкоМир» с точки зрения частного и публичного права, поиск перспективных решений;

- пути создания и применения технологий комплексного информационного обеспечения и мониторинга атмосферы, сухопутной и водной поверхностей планеты для выработки базовых тематически ориентированных средств решения задач управления устойчивым развитием регионов с использованием результатов геокосмической деятельности.

По итогам V 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 цивилизационного развития, включая космический.

2. Подчеркнуть значимость глобального геокосмического проекта – общепланетарного транспортного средства (ОТС) – как единственно возможного с инженерной точки зрения, следовательно, ключевого транспортно-логистического решения для индустриального освоения 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 осуществления программы «ЭкоМир».

4. Признать, что в настоящее время человечество находится в условиях судьбоносного выбора:

- либо реализовать программу «ЭкоМир», перестроив привычный уклад жизни и выбрав экоориентированный путь изменения традиционной индустрии:

а) решить глобальные экономические и социальные проблемы на Земле с помощью биосферных технологий;

б) превратить планету, взрастившую нашу техногенную цивилизацию, в цветущий сад;

в) вынести экологически опасную индустриальную часть техносферы за пределы земной биосферы – в ближний космос;

г) запретить грубое техногенное вмешательство в общепланетарные биосферные процессы;

д) в космическом доме по имени Планета Земля пре-  
кратить все попытки обуздать Природу, к созданию которой  
наша цивилизация не имеет ни малейшего отношения;

- либо потерпеть сокрушительное поражение, обре-  
кая наших детей и внуков на встречу с глобальной эколо-  
гической катастрофой, которая приведёт к последующей  
деградации, угасанию и гибели той цивилизации, которую  
мы знаем и частью которой являемся.

5. Поддержать Программу перезагрузки экономики Со-  
юзного государства России и Беларуси на биосферный  
путь цивилизационного развития, представленную на пле-  
нарном заседании конференции, как первый этап реализа-  
ции широкомасштабной программы «ЭкоМир». Обозначить,  
что интеграция в рамках Союзного государства открывает  
перед странами новые возможности и горизонты, позво-  
ляет переориентироваться на внутреннюю повестку, вы-  
страивая курс на наращивание автономности и суверени-  
тета (в том числе технологического), а также на усиление  
экономики. В рамках Союзного государства должны быть  
созданы, с чистого листа, новые финансовые институты,  
сформированы правительство и более совершенная

кредитно-денежная система, не подверженные влиянию  
недружественных сторон, осуществлены различные про-  
граммы, предусматривающие комплексную переориента-  
цию союзной экономики на новые биосферные техноло-  
гические рельсы. Отметить, что обозначенная программа  
перезагрузки должна быть представлена правительст-  
вам России и Беларуси после её широкого обсуждения  
и поддержки прогрессивной общественностью Союзного  
государства и других стран.

6. Подчеркнуть, что введённые в структуру конференции  
секции «Социально-правовые, политические и финансовые  
аспекты реализации программы безракетного освоения  
космоса uSpace» и «Социальное проектирование и основ-  
ные тренды развития человеческой цивилизации на Земле  
и в космосе» показали свою эффективность как площад-  
ки для оживлённой дискуссии, выражения экспертных мнe-  
ний по вопросам проектирования будущего, социальной  
трансформации существующих систем, продуктивность  
которых многократно подвергалась сомнению и конструк-  
тивной критике. В процессе обсуждения особенностей гло-  
бальных геокосмических и земных проектов определён

вектор для решительных действий в направлении индуст-  
риализации и широкомасштабного освоения ближнего  
космоса и принято решение расширять данную деятель-  
ность в рамках создания сообщества единомышленников –  
международной платформы, альтернативной существующим  
деструктивным мировым идеологическим площадкам.

7. Для привлечения широкого круга исследователей,  
занимающихся проблематикой индустриального освое-  
ния ближнего космоса, проводить регулярные научные,  
научно-технические и научно-практические семинары  
по данному направлению.

8. Отметить высокий научный и научно-технический  
уровень представленных докладов.

9. Издать сборник материалов конференции. Участ-  
никам, чьи работы будут опубликованы, оформить их  
в виде научных статей в соответствии с предъявляемыми  
требованиями.

10. Осенью 2023 г. провести VI международную конфе-  
ренцию по проблемам безракетного освоения ближнего  
космоса.

Организационный комитет выражает признательность  
всем участникам, докладчикам, гостям, а также финанси-  
рующим структурам и частным лицам, благодаря которым  
конференция состоялась: ООО «Астроинженерные техноло-  
гии», ЗАО «Струнные технологии», Крестьянскому (фермер-  
скому) хозяйству «Юницкого», предоставившему площадку  
и оказавшему широкое содействие в проведении научно-  
го форума, другим организациям международной группы  
компаний Юницкого.

Мы рады осознавать, что разделяем единые ценност-  
и действуем на благо Человечества совместно с Орга-  
низацией Объединённых Наций по промышленному раз-  
витию (ЮНИДО) и Арктической общественной академией  
наук. Это важный шаг на пути к полномасштабному сотру-  
дничеству для реализации программы «ЭкоМир» и её кос-  
мического вектора – программы безракетного освоения  
космоса uSpace – в логике «Земля – для жизни. Космос  
– для индустрии».

Организационный комитет конференции  
24.09.2022



# Глоссарий: термины и определения

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 and infrastructure complex / Unitsky String Transport) как физического воплощения транспортно-инфраструктурных решений ЮСТ (uST transport and infrastructure solutions).

**Активная система защиты (АСЗ)** – генератор электростатического поля, при прохождении которого отрицательно заряженные обломки космического мусора создают в нём резонансные колебания.

**Биологическое равновесие** – сохранение в течение длительного времени динамической стабильности природных комплексов (биогеоценозов), т. е. относительный баланс устойчивости видового состава живых организмов, их численности и продуктивности.

**Биоразнообразие** – природное разнообразие жизни во всех её проявлениях, а также показатель сложности биологической системы, разнокачественности её живых компонентов. Биоразнообразию 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 аккумуляция солнечной энергии, поступающей на Землю.

**Взлётно-посадочная эстакада общепланетарного транспортного средства (uWay)** – взлётно-посадочный, энергетический и коммуникационный узел эстакадного типа для геокосмических перевозок, размещённый вдоль экватора и совмещённый с линейным экопоселением нового поколения.

**Геокосмическая программа uSpace** – программа безракетного освоения ближнего космоса с помощью общепланетарного транспортного средства (ОТС), реализация которой обеспечит сохранение земной биосферы путём выноса индустрии (техносферы) за пределы планеты Земля (за пределы земной биосферы).

**Искусственная атмосфера** – специально подобранная смесь газов, которая обеспечивает нормальное дыхание и газообмен у живых организмов, включая человека, находящихся в условиях замкнутой (закрытой) экосистемы; по качеству не уступает земной атмосфере. Газовая составляющая пространства ЭкоКосмоДома (ЭКД) – искусственная атмосфера.

**Космическая солнечная электростанция (КСЭС)** – орбитальная солнечная электростанция, использующая энергию Солнца; обеспечивает энергонезависимость и биосферную экологическую безопасность космического промышленного ожерелья «Орбита» (КИО «Орбита»).

**Космический вектор индустриализации** – глобальное перевооружение земной техносферы с целью устранения её антропогенного угнетающего воздействия на биосферу Земли за счёт перемещения экологически вредных, энерго- и ресурсоёмких отраслей и предприятий в космос на низкие околоземные орбиты. Космический вектор индустриализации также предполагает модернизацию части индустрии, оставленной на Земле и функционирующей в биосфере, на основе экоориентированных технологий.

**Космическое промышленное ожерелье «Орбита» (КИО «Орбита»)** (англ. – **Industrial Space Necklace "Orbit" – ISN "Orbit"**) – обслуживающий земное человечество многоорбитальный транспортно-инфраструктурный и промышленно-жилой комплекс, охватывающий планету в плоскости экватора, являющийся функциональным аналогом земного экваториального линейного города (ЭЛГ), размещённым в космосе, а также плацдармом для защиты от космических угроз (в том числе метеоритных) и платформой для экспансии земной цивилизации в дальний космос.

**Линейный город uCity** – пешеходное городское поселение кластерного типа, поверхность земли в котором предназначена для людей, животных и зелёных насаждений; застройка жилых, административных, промышленных и многофункциональных кластеров реализуется с использованием экоориентированных технологий EcoHouse; обеспечение электроэнергией и теплом осуществляется в соответствии с технологией uEnergy; снабжение продуктами питания взаимосвязано с технологией органического земледелия uGreen. Транспортные, энергетические и информационные коммуникации размещены над землёй на втором уровне (эстакадное исполнение) согласно технологии ЮСТ. Линейные города uCity отличаются отсутствием 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 многоцелевого использования для безракетного промышленного освоения ближнего космоса, выполненный в виде опоясывающего Землю в экваториальной плоскости тора; обеспечивающий промышленные грузо- и пассажиропотоки (миллионы тонн грузов и миллионы пассажиров в год) с Земли на околоземные экваториальные орбиты и обратно; основанный на единственно возможной (с позиций физики) экологически чистой и с минимальными энергозатратами геокосмической транспортной технологии, использующей только внутренние силы системы (летательного аппарата) и электрическую энергию.

**Пищевая солнечная биоэнергетика (ПСБЭ)** – энергетика, основанная на комплексном потреблении и переработке биомассы растений, впитавших энергию Солнца, для получения биотоплива, корма для животных и пищи для человека.

**Реликтовая солнечная биоэнергетика (РСБЭ)** – энергетика, основанная на применении ископаемых бурых углей и горючих сланцев, для получения чистой энергии и одновременного образования живого гумуса, необходимого для восстановления плодородия различных типов почв.

**Технологическая платформа «Струнные технологии Юницкого» (ЮСТ)** (англ. – **Unitsky String Technologies – uST**) – строительство (вдоль линейных городов uCity) нового вида транспортно-инфраструктурных и энергоинформационных

сетей uNet, создаваемых на основе предварительно напряжённых (струнных) конструкций Юницкого. Предназначена для обеспечения всех необходимых коммуникационных связей между объектами (и континентами) на Земле; между объектами в ближнем космосе, движущимися по круговым экваториальным орбитам; между объектами на Земле и размещёнными в ближнем космосе.

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

**Технологическая платформа EcoHouse** – экоориентированное строительство на Земле жилых и производственных зданий и сооружений с открытым для внешней природной (биосферной) среды придомовым пространством, заполненным естественной и культурной (органическое земледелие) экосистемами, в которых атмосферные, почвенные и водные параметры регулируются земной природой. Почва из-под зданий при их строительстве переносится на крыши и этажи, затем обогащается живым гумусом. Озеленение проходит соответственно: «Любое строительство на планете – это увеличение площади плодородных почв и повышение их плодородия».

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

- специально оборудованных теплоэлектростанций для экологически чистого сжигания бурых углей, сланцев, торфа и другого сырья органического происхождения с целью выработки живого плодородного гумуса из отходов их горения;
- возобновляемых источников энергии – энергии Солнца на Земле и в космосе, а также энергии ветра и морских течений;

- пары «водород – кислород» в качестве топливного аккумулятора для решения задач оптимизации энергетической отрасли планеты и космических перевозок.

**Технологическая платформа uGreen** – органическое земледелие в новой логике воссоздания и интенсификации природных биосферных процессов путём прямого заимствования и использования естественных природных почвенных экосистем со своими микрофлорой, микрофауной и биогеоценозом, а также в логике полного отказа от применения каких-либо синтетических химикатов (удобрения, средства защиты растений и др.), технологий генной модификации и других элементов традиционного интенсивного земледелия.

**Транспортно-инфраструктурная сеть uNet** – международная сеть транспортных, энергетических и информационных коммуникаций, созданная на базе транспортно-инфраструктурных решений ЮСТ вдоль линейных городов uCity.

**Устойчивое развитие** – «удовлетворение потребностей нынешнего времени, не подвергая угрозе возможность последующих поколений удовлетворять свои потребности». Понятие сформулировано Международной комиссией по окружающей среде и развитию при ООН и положено в основу целей и принципов деятельности ООН.

**Центр испытаний и сертификации uSky** – научно-производственный кластер транспортно-инфраструктурных решений ЮСТ, построенный в Объединённых Арабских Эмиратах (г. Шарджа).

**Цивилизационная техногенная развилка** – стадия развития земной техносферы, в момент достижения которой техногенная человеческая цивилизация оказывается перед исторически важным выбором двух взаимоисключающих сценариев действий:

1) земная цивилизация продолжает развивать традиционный техногенный вектор, ограничиваясь только размерами и ресурсами планеты. При этом потребление ресурсов кардинально не меняется, так как мировая экономика опирается на морально устаревшие и ресурсоёмкие технологии (в первую очередь – транспортно-логистические технологии столетней давности). Как следствие, точка невозврата от деградации, угасания и гибели человеческой цивилизации наступит примерно через два поколения (в третьей четверти XXI в.);

2) начало индустриализации ближнего космоса, получение доступа к его неограниченным ресурсам, бесконечным

пространству, веществу и энергии, а также к новым технологическим ресурсам: невесомости, глубокому вакууму, технологической чистоте (без пыли и микроорганизмов) и космическим излучениям. Обязательное требование: используемые на планете неэффективные транспортно-инфраструктурные технологии, энергетика, среда обитания (города), инфраструктура и сельское хозяйство, представляющие наибольшую угрозу для земной биосферы, должны быть замещены более совершенными коммуникациями и экоориентированными технологиями.

**Экваториальный линейный город (ЭЛГ) (англ. – Equatorial Linear City – ELC)** – земной компонент геокосмического транспортно-коммуникационного комплекса, на территории которого размещена стартовая эстакада ОТС со всей инфраструктурой, необходимой для осуществления полётов ОТС и обслуживания глобальных геокосмических грузо- и пассажиропотоков. Представляет собой гармонично вписанные в природную среду сухопутных и океанических участков планеты поселения кластерного типа, соединённые между собой трассами ЮСТ и размещённые на полосе вдоль экватора.

**ЭкоКосмоДом 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 (биосфера, технологии, взаимосвязи процессов и др.) с замкнутым круговоротом вещества (живого и минерального), энергии и информации.

**ЭкоМир** – программа, предусматривающая развитие экоориентированных биосферных технологий, направленных на трансформацию основных сфер земной промышленности, инфраструктуры, энергетики, транспорта, сельского хозяйства. Предполагает вынесение вредной части земной индустрии в ближний космос с целью обеспечения равновесия в совершенном мире, представленном триединством

БиоМира, ТехноМира и ХомоМира, которые в совокупности образуют комплекс оптимальных условий для устойчивого роста и дальнейшего развития техногенной земной цивилизации в космическом направлении.

**БиоМир** – восстановленная и сбалансированная планетарная, открытая в космос биосферная экосистема, которая более не испытывает антропогенного угнетающего воздействия техносферы Земли и продолжает развиваться по законам эволюционно сложившейся земной природы. Включает:

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

**ТехноМир** – вновь созданные индустриальные компоненты:

- 1) земная индустрия, сформированная на основе новых экоориентированных технологий и состоящая только из необходимых человеку внутри биосферы Земли технологических отраслей;
- 2) космическая индустрия, включающая вынесенные за пределы биосферы Земли энергозатратные, ресурсоёмкие, экологически вредные и другие отрасли промышленности, которые в условиях космической технологической среды приобретают абсолютное конкурентное ценовое и качественное превосходство;
- 3) геокосмический транспортный комплекс ОТС, обеспечивающий экологически чистую для земной биосферы транспортно-логистическую связь между земными и космическими компонентами индустриального ТехноМира с грузо-, энерго-, инфо- и пассажиропотоками индустриального масштаба;
- 4) искусственный интеллект для управления вышеуказанными компонентами 1–3 под многоуровневым контролем ХомоМира.

**ХомоМир** – усовершенствованное мировое общественно-политическое устройство, основанное на консолидации международного сообщества биологических людей (но не оцифрованных биороботов-конвергентов) вокруг единого управляющего центра, аккумулирующего территориальный, финансовый, экономический, научный, кадровый, военный и политический потенциал всех стран-участниц. Это откроет путь к неисчерпаемым и доступным ресурсам космоса и на основе космоориентированной экономики земной техногенной цивилизации создаст новые социально-политические и экономические условия для максимально полной реализации целей устойчивого развития биологического человечества, в том числе обеспечения социальной справедливости, равноправия, свобод, гармоничного развития, а также права каждого жителя планеты на достойную долгую и счастливую жизнь. ХомоМир развивается и управляется людьми, использующими в качестве помощника и советника (но не руководителя) искусственный интеллект. Главная ценность ХомоМира – человечность Человека и его духовность как социобиологической сущности, созданной Мирозданием (Богом) в результате миллиардов лет эволюции жизни в космическом доме по имени Планета Земля.

**Экосистема** – биологическая система (биогеоценоз), состоящая из сообщества живых организмов (биоценоз), среды их обитания (биотоп), а также системы связей, которая осуществляет обмен веществом и энергией между ними.

**ЭкоТехноПарк** – демонстрационно-сертификационный центр транспортно-инфраструктурных решений ЮСТ, построенный в Республике Беларусь (г. Марьина Горка).

**uMach** – концепт гиперскоростного транспортно-инфраструктурного комплекса ЮСТ. Предназначен для передвижения со скоростью выше 1000 км/ч внутри форвакуумного тоннеля (с искусственно сниженным атмосферным давлением) для обеспечения 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 любых почв, в том числе песков пустыни.

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

## Рецензия Юрия Плескачевского,

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



Всё многообразие изложенных в рецензируемом сборнике проблем, идей, проектов, фактов и мыслей можно проинтегрировать следующей приведённой в сборнике фразой, являющейся, по сути, формулой выживания современной технократической цивилизации: «Земля – для жизни. Космос – для индустрии». Все аспекты деятельности человечества в ближайшее столетие должны направляться и последовательно вписываться в эту формулу, которая при своей реализации должна стать формулой новой жизни человечества. Идеи и уже конкретные реализованные проекты, изданные монографии, статьи, включая изложенные в данном сборнике, а также публичные выступления инженера и изобретателя, философа и мыслителя Анатолия Эдуардовича Юницкого представляют собой фактически проект дорожной карты движения к постиндустриальной земной цивилизации через биосферный путь цивилизационного развития и безракетное освоение ближнего космического пространства.

Следует отметить, что идея переноса с экологической точки зрения наиболее проблемных отраслей промышленности в околоземное космическое пространство не нова. Ещё в 60-е годы прошлого века крупный американский учёный Крафт А. Эрик в своих трудах по космонавтике

описал перспективы развития космической индустрии в околоземном пространстве и на Луне. В качестве транспортных систем им предлагалась платформа «Шаттл» – «Спейслэб» как промежуточный буксир и стартовая ступень, а также транспортный космический корабль ракетного типа и полностью многоразовый «Шаттл» с возвращаемой первой ступенью многократного применения. Однако с годами становилось всё более очевидным, что идеи Эрика, основанные на использовании ракетного транспорта для перемещения миллионов тонн грузов на околоземную орбиту, неэкономичны, неэкологичны, нетехнологичны, небезопасны и поэтому бесперспективны. Это понимание пришло в том числе, а возможно, и прежде всего, благодаря трудам А.Э. Юницкого и его сподвижников и единомышленников, которые уже пятый раз собираются на организуемых А.Э. Юницким конференциях, с каждым этапом становящихся всё более представительными и в полном смысле этого слова международными, о чём свидетельствуют материалы рецензируемого сборника.

Общепланетарное транспортное средство (ОТС) не имеет аналогов и является наиболее крупным инженерным проектом из всех известных в истории человечества. Именно этот проект может стать ключевым транспортно-логистическим



**Идеи и уже конкретные реализованные проекты, изданные монографии, статьи, включая изложенные в данном сборнике, а также публичные выступления инженера и изобретателя, философа и мыслителя Анатолия Эдуардовича Юницкого представляют собой фактически проект дорожной карты движения к постиндустриальной земной цивилизации через биосферный путь цивилизационного развития и безракетное освоение ближнего космического пространства.**

решением для реализации принципов космической индустрии и осуществления не менее глобальной программы «ЭкоМир». Первым крупным этапом на этом пути может стать создание на базе Союзного государства России и Беларуси Центра перезагрузки нового мира на биосферный путь цивилизационного развития. Обстоятельный доклад А.Э. Юницкого на эту тему содержит уже сегодня реализуемые конкретные шаги по созданию и успешному функционированию подобного Центра. Главные проекты и технологии, реализуемые Центром, могут и должны послужить основой функционирования ЭкоКосмоДомов, из которых предлагается построить космическое индустриальное ожерелье планеты Земля. Ряд докладов, включённых в сборник, посвящён как обеспечению устойчивого функционирования всех систем ОТС от его «раскрутки» до вывода на околоземную орбиту, так и особенностям создания производств в ближнем космосе и обеспечению конкретных условий работы и проживания в ЭкоКосмоДоме обслуживающего ОТС персонала и работников производств. Понятно, что на этом пути ещё много нерешённых проблем и задач, в том числе сегодня и не предвиденных, которые станут предметом обсуждения на последующих конференциях.

Заслуживает отдельного упоминания приведённый в сборнике глоссарий, который обогащает современную космологию новыми понятиями и терминами.

Приведённое в сборнике Решение V международной научно-технической конференции «Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты» призывает мировую общественность признать, что в настоящее время человечество находится в условиях судьбоносного выбора: либо реализовывать программу «ЭкоМир» во всех её аспектах и элементах, либо продолжать двигаться по уже наметившимся трендам к деградации, угасанию и возможной гибели нынешней цивилизации.

Полагаю, что данное Решение, как и материалы рецензируемого сборника, должны быть переведены на многие языки и направлены всем главам правительств и во все международные организации, размещены на общедоступных цифровых платформах в сети Интернет.

Рекомендую сборник материалов V международной научно-технической конференции «Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты» к опубликованию в открытой печати в представленном виде.

## Рецензия Михаила Орлова,

доктора технических наук,  
профессора, генерального директора  
и научного руководителя  
Академии Модерн ТРИЗ,  
г. Берлин, Германия



В течение более чем 27 лет я являюсь сторонником и соратником А.Э. Юницкого в его устремлениях, направленных на инженерное, а вместе с этим и на социальное развитие человеческой цивилизации. С каждым новым докладом белорусского учёного вижу не только утверждение его первых фундаментальных идей, но и их непрерывное совершенствование, уточнение, проявление реалистических очертаний. Контуры возможного будущего в видении изобретателя проступают всё более отчётливо, обоснованно и в таких многоаспектных изображениях, что это вызывает не просто уважение к системному и динамичному развитию его глобальных проектов, а выходит на уровень удивления и даже потрясения от художественной, эстетической и, разумеется, гуманистической ценности визуализируемых конструкций.

В докладах, представленных на V международной научно-технической конференции «Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты», комплексно охвачены ключевые цивилизационные перспективы, которые объединены фундаментальной концепцией биосферной эволюции, восходящей к идеям В.И. Вернадского и наследующей его предвидения. К таким основным перспективам относятся:

1) реликтовая солнечная биоэнергетика во взаимодействии с другими эффективными и экологичными производствами энергии – ядерной, солнечной (фотовольтаика, термальная), геотермальной, гидродинамической (плотинная, волновая, приливная) и др.;

2) биосферное сельское хозяйство – без отравления плодородной почвы химикатами и так называемыми удобрениями, с рационализацией использования пресной воды, сохранением чистой атмосферы, созданием безотходных замкнутых циклов воспроизводства биопродукции;

3) технология строительства линейных городов кластерного типа – с выходом на бесперебойное жизнеобеспечение населения планеты численностью 10 млрд и более человек;

4) транспортно-инфраструктурные комплексы «второго уровня» – Струнный транспорт Юницкого с эволюционным развитием и превращением в общепланетарную транспортную сеть uNet;

5) безракетная индустриализация ближнего космоса – наиболее сложное творение будущей цивилизации, которое предложено именно А.Э. Юницким.





**Решения А.Э. Юницкого, касаются ли они создания струнных надземных дорог, новых биотехнологических, энергетических и продуктовых комплексов или освоения околоземного пространства, обладают системообразующими свойствами в масштабе всей цивилизации, причём охватывая не только планету, но и ближний космос, не только на интервале некоторой актуальной реальности, но и на перспективу в сотни и даже тысячи лет в будущее.**

По всем перечисленным направлениям в докладах конференции представлены убедительные аргументы и расчётные данные. Общий результат анализа трудов высококвалифицированных специалистов научной инженерной школы Юницкого можно выразить высказыванием Д. Габора, физика, лауреата Нобелевской премии: «Будущее нельзя предвидеть, но можно изобрести».

Великое изобретение означает революцию в инжиниринге и, естественно, в социуме. Так и решения А.Э. Юницкого, касаются ли они создания струнных надземных дорог, новых биотехнологических, энергетических и продуктовых комплексов или освоения околоземного пространства, обладают системообразующими свойствами в масштабе всей цивилизации, причём охватывая не только планету, но и ближний космос, не только на интервале некоторой актуальной реальности, но и на перспективу в сотни и даже тысячи лет в будущее.

Я уверен, что А.Э. Юницкий своей деятельностью вполне заслуживает статуса лауреата Нобелевской премии. Можно полагать, что в скором времени разработку изобретателя будут по достоинству оценены. Хотя самой значимой наградой стала бы реализация его идей и технических решений на благо цивилизации.

Как и в предыдущих сборниках, материалы конференции производят очень позитивное впечатление. Тематика статей весьма разнообразна и затрагивает вопросы конструирования, применения различных материалов, организации биопроизводства, использования искусственного интеллекта, правового регулирования, модернизации системы образования. Работы интересны, актуальны, поучительны, имеют научную и практическую ценность и демонстрируют большой размах и потенциал развития Струнных технологий Юницкого.

## Рецензия Андрея Кузнецова,

доктора биологических наук,  
научного консультанта  
федерального исследовательского центра  
«Институт биологии южных морей  
имени А.О. Ковалевского РАН»

Человечество будет вынуждено покинуть планету Земля и переместиться в космическое пространство из-за неизбежного остывания Солнца. Естественно, готовиться к этому необходимо заранее, тем более что появились и другие весомые причины, о которых сообщается в данном сборнике. Стоит отметить, что идея колонизации ближнего космоса будоражила многие умы. Например, А. Кларк в своём романе «Фонтаны рая» (The Fountains of Paradise, 1979) описывает космический лифт, который максимально удешевит вывод грузов и пассажиров на орбиту Земли. Причём это будет осуществлено в XXII в. Кроме того, английский фантаст предложил идею орбитальных спутников, которая уже реализована. Именно поэтому я склонен доверять его временным рамкам.

В сборнике материалов V международной научно-технической конференции «Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты» вокруг концепции общепланетарного транспортного средства, являющегося структурной частью геокосмической программы uSpace, выстроена логическая цепочка противодействия мировой буржуазии в её планах инклюзивного капитализма, подразумевающего сокращение численности человечества до «золотого миллиарда»,

а затем и до «бриллиантового миллиона». ИмPLICITно поставлен вопрос: «Хотим ли мы такого сценария для наших детей и внуков?» Конечно же нет! Значит, необходимо объединить усилия по построению зелёного гармоничного рая на Земле, опираясь на достижения предков и в полной мере применяя и развивая науку.

В сборнике поднимаются острые вопросы и приводятся интересные примеры использования инновационных технологий для облагораживания нашей планеты, такие как применение бурого угля в энергетике, размещение оранжерей на кровлях зданий, определение параметров технологического освещения растений, их микроклубональное размножение, каллусогенез, выращивание мицелия грибов на органических субстратах, создание генетических банков организмов, предупреждение раннего старения, искусственный интеллект и отчуждение человека от разума. Как подчёркивают авторы, «...инструментом упорядочивания в данной связи выступают определённые алгоритмы, которым подчиняются субъекты в цивилизационных процессах». Разумному человечеству необходимо бороться за юридическую защиту этих благородных алгоритмов биосферного вектора развития, что требует политической воли.

## Уважаемые читатели!

Настоящий сборник подготовлен по итогам V международной научно-технической конференции «Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты», которая состоялась в г. Марьина Горка 23–24 сентября 2022 г. Надеемся, представленный в данной книге материал окажется вам полезен.

Свои отзывы, пожелания и предложения направляйте по адресу: [conf@ecospace.org](mailto:conf@ecospace.org).

Дополнительная информация по теме безракетного освоения космоса размещена на электронном ресурсе: [www.ecospace.org/ru/conferences](http://www.ecospace.org/ru/conferences).

Организационный комитет конференции,  
редакционная коллегия сборника материалов конференции



Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы V международной научно-технической конференции, Марьина Горка, 23–24 сент. 2022 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2023. – 320 с.  
ISBN 978-985-7172-92-4.

Материалы сборника отражают тематику и содержание докладов, представленных в рамках V международной научно-технической конференции «Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты». На конференции 2022 г. рассмотрены пути решения глобальных проблем современности геокосмическими средствами; озвучены принципы конструирования транспортно-инфраструктурного геокосмического комплекса и гиперскоростного транспорта; исследованы особенности обеспечения комфортного проживания в космических поселениях; 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 государственного управления, научно-исследовательских институтов, преподавателей и студентов учебных заведений.

Научное издание

## **БЕЗРАКЕТНАЯ ИНДУСТРИАЛИЗАЦИЯ БЛИЖНЕГО КОСМОСА: ПРОБЛЕМЫ, ИДЕИ, ПРОЕКТЫ**

Сборник материалов V международной научно-технической конференции  
(23–24 сентября 2022 г., г. Марьина Горка)

### **Редакционная коллегия**

Главный редактор: Юницкий А.Э., д. ф. т.; ответственный редактор: Исаев Д.А.; координатор: Лобазова И.Е., к. х. н.; редакторы секций: Артюшевский С.В.; Гаранин В.Н., к. т. н.; Зыль Н.С.; Казакевич А.П.; Петров Е.О.; бренд-консультант: Котишевская О.В.; редактор: Гильманова Л.В.; научные консультанты: Климов А.Г., к. э. н.; Цырлин М.И., к. т. н.; ответственный секретарь: Романюк Д.В.

### **Рецензенты статей**

Негрей В.Я., д. т. н., БелГУТ (Беларусь); Бусько Е.Г., д. б. н., МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ (Беларусь); Романовский В.И., к. т. н., НИТУ МИСИС (Россия); Лукаш В.Т., к. т. н., БГТУ (Беларусь); Куис Д.В., к. т. н., БГТУ (Беларусь); Игнатовец О.С., к. б. н., БГТУ (Беларусь); Шевчук М.О., к. х. н., БГТУ (Беларусь); Мартыненко И.М., к. ф.-м. н., БГУ (Беларусь); Кузьмин В.Н., к. ф.-м. н., БГУ (Беларусь); Черноус Д.А., к. т. н., БелГУТ (Беларусь); Володько И.К., к. б. н., Центральный ботанический сад НАН Беларуси (Беларусь).

### **Рецензенты сборника**

Плескачевский Ю.М., член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, д. т. н., профессор, заслуженный деятель науки Республики Беларусь;  
Орлов М.А., д. т. н., профессор, генеральный директор и научный руководитель Академии Модерн ТРИЗ (Германия);  
Кузнецов А.В., д. б. н., научный консультант федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН» (Россия).

**Редакторы, корректоры:** Гильманова Л.В., Линевич Т.А., Яковлева К.В.

**Дизайн-макет:** Луд И.И., Горбунова Н.А.

**Компьютерная вёрстка:** Горбунова Н.А., Данильчик Т.А., Луд И.И.

**Дизайн обложки:** Горбунова Н.А.

**Визуализации и иллюстрации:** Быкова О.Г., Сирый М.И., Кошелев А.Г., Волобуев Р.М., Минько Е.А., Коровкин А.В., Шангин С.В., Кузьмич В.А., Семак А.М., Горбунова Н.А., Чижик Е.И., Скорикова Э.М.

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за достоверность приведённых в них сведений.

В процессе работы над изданием использованы материалы из открытых интернет-источников.

Подписано в печать 08.02.2023. Формат 60 × 84 1/8. Бумага мелованная. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 372. Тираж 500 экз. Заказ 182.

Издатель и полиграфическое исполнение: Государственное предприятие «СтройМедиаПроект».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий: № 1/43 от 03.10.2013, № 2/42 от 13.02.2014.

Ул. В. Хоружей, 13/61, 220123, г. Минск.

ISBN 978-985-7172-92-4



9 789857 172924

УДК 629.78

ББК 39.6я43

Б39

ISBN 978-985-7172-92-4

© ООО «Астроинженерные технологии», 2023

© ЗАО «Струнные технологии», 2023

© Юницкий А.Э., 2023

© Оформление. Государственное предприятие «СтройМедиаПроект», 2023