

ВИТАМИННАЯ КОСМИЧЕСКАЯ ОРАНЖЕРЕЯ КАК ЭЛЕМЕНТ ПЕРСПЕКТИВНОЙ БИОЛОГО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЭКИПАЖЕЙ

© 2025

- Ю. А. Беркович** доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией;
Государственный научный центр Российской Федерации Институт медико-биологических проблем Российской академии наук (ГНЦ РФ ИМБП РАН);
berkovich@imbp.ru
- А. М. Беляк** магистр биологии, младший научный сотрудник;
Государственный научный центр Российской Федерации Институт медико-биологических проблем Российской академии наук (ГНЦ РФ ИМБП РАН);
belyak@imbp.ru
- А. А. Буряк** магистр физики, ведущий инженер;
ООО «Технологические инновации», г. Москва;
aa.gbitech@proton.me
- Ю. И. Смирнов** заведующий лабораторией;
Государственный научный центр Российской Федерации Институт медико-биологических проблем Российской академии наук (ГНЦ РФ ИМБП РАН);
yusmirnov@imbp.ru
- А. А. Иванова** младший научный сотрудник;
Государственный научный центр Российской Федерации Институт медико-биологических проблем Российской академии наук (ГНЦ РФ ИМБП РАН);
aaivanova@imbp.ru

Описана конструкция витаминной оранжереи для космического эксперимента «Витацикл-Т» на российском сегменте Международной космической станции. Опытный образец научной аппаратуры «Витацикл-Т» успешно прошел автономные испытания в Институте медико-биологических проблем Российской академии наук в 2024 г. Суммарная освещаемая светодиодами площадь посевов в вегетационном модуле составляет 0,4 м², а его объём – 0,09 м³. Энергопотребление установки составляет около 870 Вт. Средние ежесуточные урожаи листовой капусты в космической оранжерее составили 84 г, а трудозатраты по обслуживанию космического эксперимента при наземных испытаниях не превышали 5,5 мин в сутки. Витаминная космическая оранжерея сможет удовлетворять потребности одного космонавта в витаминах А и С. Результаты испытаний позволяют считать витаминную оранжерею «Витацикл-Т» перспективным элементом для будущих биолого-технических систем жизнеобеспечения космических экипажей.

Биотехническая система жизнеобеспечения космонавтов; космическая оранжерея; растительный конвейер; дальние космические экспедиции

Цитирование: Беркович Ю.А., Беляк А.М., Буряк А.А., Смирнов Ю.И., Иванова А.А. Витаминная космическая оранжерея как элемент перспективной биолого-технической системы жизнеобеспечения космических экипажей // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2025. Т. 24, № 2. С. 7-18. DOI: 10.18287/2541-7533-2025-24-2-7-18

Введение

С началом эры пилотируемых космических полётов перед человечеством встала новая практическая задача: обеспечение искусственной среды обитания для экипажей в гермокабинах ограниченного объёма. Основоположники космонавтики полагали, что одним из перспективных путей создания адекватных условий для жизнедеятельности людей во время длительных космических полётов будет регенерация веществ, потребляемых человеком, с помощью взятых на космический корабль наземных организмов: растений, животных, микробов и др. [1]. Большинство специалистов придерживаются

того мнения, что в состав фотоавтотрофного звена в биолого-технических системах жизнеобеспечения (БТСЖО) будут входить высшие растения, поскольку они дают полноценные и традиционно используемые человеком продукты питания. Российские учёные являются пионерами по разработкам конструкций космических оранжерей (КО). Первые советские КО «Вазон» и «Оазис 1» были доставлены на орбитальные комплексы «Союз 10 – Салют» и «Союз 11 – Салют» ещё в 1971 г. Результаты ранних экспериментов с растениями на орбитальных спутниках Земли изложены, например, в работе [2]. В конце 1990 г. на борт советского орбитального комплекса «Мир» была доставлена российско-болгарская КО «Свет» с автоматической системой полива и освещения растений. Эта КО была разработана в Институте медико-биологических проблем (г. Москва) совместно с Институтом космических исследований Болгарской академии наук (г. София). С 1990 по 2001 г. в этой научной аппаратуре российскими специалистами совместно с болгарскими и американскими учёными были проведены важные эксперименты по изучению воздействия факторов околоземного орбитального космического полёта на рост и развитие растений на советском орбитальном комплексе (ОК) «Мир». Главный вывод из экспериментов в КО «Свет» состоял в том, что в случае обеспечения адекватных условий среды (увлажнения прикорневой зоны, минерального питания корней и освещения растений, а также состава газовой среды в КО) многие виды однолетних растений могут нормально расти и развиваться в условиях орбитального космического полёта в течение полного цикла онтогенеза. При этом работа фотосинтетического аппарата и развитие растений практически не отличаются от таковых в наземных условиях. После прекращения работы ОК «Мир» в американском Университете штата Юта совместно с российскими специалистами была изготовлена, а затем доставлена на российский сегмент Международной космической станции (МКС) КО «Лада». В течение 15 лет проведения космических экспериментов с растениями были получены дополнительные важнейшие данные, необходимые для обоснования космического овощеводства [3]. В частности, было установлено, что в условиях орбитального полёта длительность онтогенеза, развитие генеративных органов, экспрессия генов в геноме, интенсивность основных обменных процессов, пигментный состав и метаболизм растений существенно, по сравнению с наземными условиями, не изменяется. Вместе с тем было обнаружено заметное воздействие на растения некоторых параметров среды обитания внутри пилотируемого космического аппарата (ПКА). Особенно негативно проявлялось влияние на растения газовых загрязнителей, например этилена, аммиака и др. Чувствительность различных видов растений к газовым примесям неодинакова, но в целом, предельно допустимые фитотоксические концентрации многих газовых загрязнителей существенно ниже, чем у людей. Вследствие этого КО следует снабжать входным фильтром газовых загрязнителей. Предельно допустимые дозы ионизирующего излучения, как правило, у растений оказываются выше, чем у экипажа [4], поэтому радиационная защита КО внутри ПКА на низкой околоземной орбите не очень актуальна.

Общим свойством исследовательских КО первых поколений являются малые размеры, небольшая мощность светильников и, как следствие, низкая продуктивность, не превышающая 6...8 г/сутки, что могло бы удовлетворить суточные потребности одного члена экипажа приблизительно на 5...6% по витамину С и на 13% по витамину А. В двухтысячные годы в России и в других странах – участницах космических исследований были предложены более крупные КО. В американском сегменте МКС с 2014 г. работает КО “Veggie”, позже там же была установлена КО Advanced Plant Habitat (APH) (рис. 1).

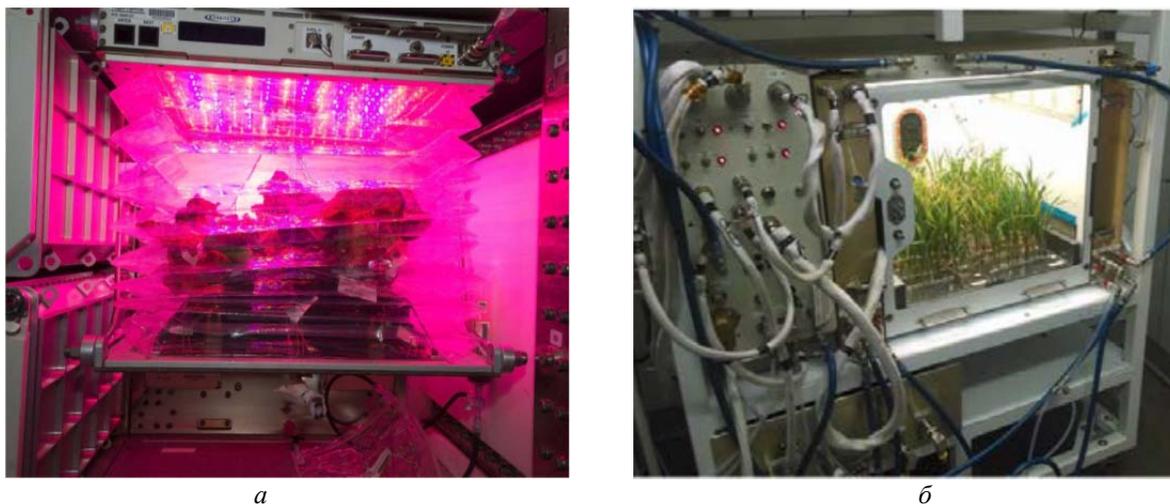


Рис. 1. Американские космические оранжереи на Международной космической станции:
а – космическая оранжерея “Veggie”; б – космическая оранжерея “APH”

В настоящее время астронавтам дозволено употреблять в небольших количествах салатную зелень, выращенную на МКС. НАСА продолжает работы по созданию производственных КО. Окончание разработки КО с посадочной площадью 1 м^2 намечено на 2030 г., а с площадью 10 м^2 – на 2050 г. [5]. На китайской орбитальной станции «Тяньгун» также установлена небольшая КО, на которой были выращены салаты, карликовые томаты, зелёный лук и листовая культура генура биколор (рис. 2). Производительность КО, показанных на рис. 1, 2, недостаточна для ежедневного обеспечения одного члена экипажа суточной дозой витаминов С и А. На американском сегменте пока решают эту проблему путём доставки дополнительных вегетационных установок. Однако такой путь неэффективен с точки зрения экономии потребляемых бортовых ресурсов [6].

Опыт многолетней эксплуатации различных конструкций КО позволил сотрудникам Института медико-биологических проблем (г. Москва) выдвинуть новую, более выгодную компоновку конвейерных космических оранжерей с выпуклыми посадочными поверхностями. Наличие динамической невесомости на МКС открыло возможность формировать направления роста растений в нужных направлениях за счёт реакций фототропизма, т.е. по направлению к ближайшему источнику света.



Рис. 2. Китайская космическая оранжерея на орбитальной станции «Тяньгун»

Таким образом удалось сформировать посеvy растений с радиальным расположением стеблей на выпуклых посадочных поверхностях, например цилиндрических или сферических. Схематическое изображение поперечного сечения конвейерной КО с цилиндрической посадочной поверхностью изображено на рис. 3. После успешных лабораторных экспериментов с наземными макетами цилиндрических и полусферических оранжерей был предложен космический эксперимент (КЭ) под названием «Отработка конструкции и оптимизация режимов культивирования растений для космической конвейерной оранжереи (КО)» («Витацикл-Т»), который был внесён в «Долгосрочную программу целевых работ, планируемых на МКС». Научная аппаратура была изготовлена в АО «НИИ космического приборостроения» (г. Москва). Автономные и биолого-технические испытания опытного образца оранжереи «Витацикл-Т» были проведены в период с марта по май 2024 г. в Институте медико-биологических проблем РАН. В данной статье описываются инновации, применённые в конструкции КО, основные результаты наземного культивирования в этой оранжерее посевов листовой капусты, а также перспективы применения подобных оранжерей в космических БТСЖО.

Описание конструкции космической оранжереи «Витацикл-Т» и применённых в ней инновационных технических решений

На рис. 3 дано схематическое изображение поперечного сечения цилиндрического вегетационного модуля КО «Витацикл-Т», поясняющее принцип культивирования растительного конвейера в шести корневых модулях (КМ). В состав научной аппаратуры (НА) входят: вегетационный модуль (ВМ), блок увлажнения и аэрации (БУА), блок управления и регистрации (БУР), а также блок питания (БП). Кроме того, для проведения наземных испытаний и контрольных опытов изготовлен наземный испытательный стенд (НИС) в виде вертикального 2D-клиностага со скоростью вращения посевов вокруг горизонтальной оси около 9 об/час, что соответствует рекомендациям работы [7]. Такое вращение посевов в наземных условиях необходимо для нейтрализации гравитропического изгиба растений под действием направленного вертикально вниз ускорения силы тяжести.

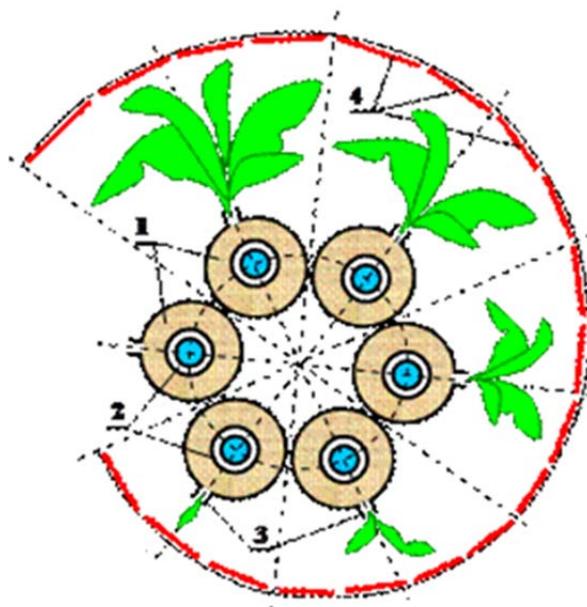


Рис. 3. Схематическое изображение конвейерной космической оранжереи с цилиндрической посадочной поверхностью:

*1 – валики корневых модулей; 2 – пористые трубки (тензиометры);
3 – посадочные щели в чехлах; 4 – панели светильников*

Внешний вид и основные составные части научной аппаратуры «Витацикл-Т», установленной в НИС, изображены на рис. 4.

Суммарная освещаемая светодиодами площадь посевов в вегетационном модуле НА «Витацикл-Т» составляет $0,4 \text{ м}^2$, а его объём – $0,09 \text{ м}^3$. Энергопотребление установки, включая НИС, составляет около 870 Вт. На рис. 5 представлен перечень инноваций в КО «Витацикл-Т».

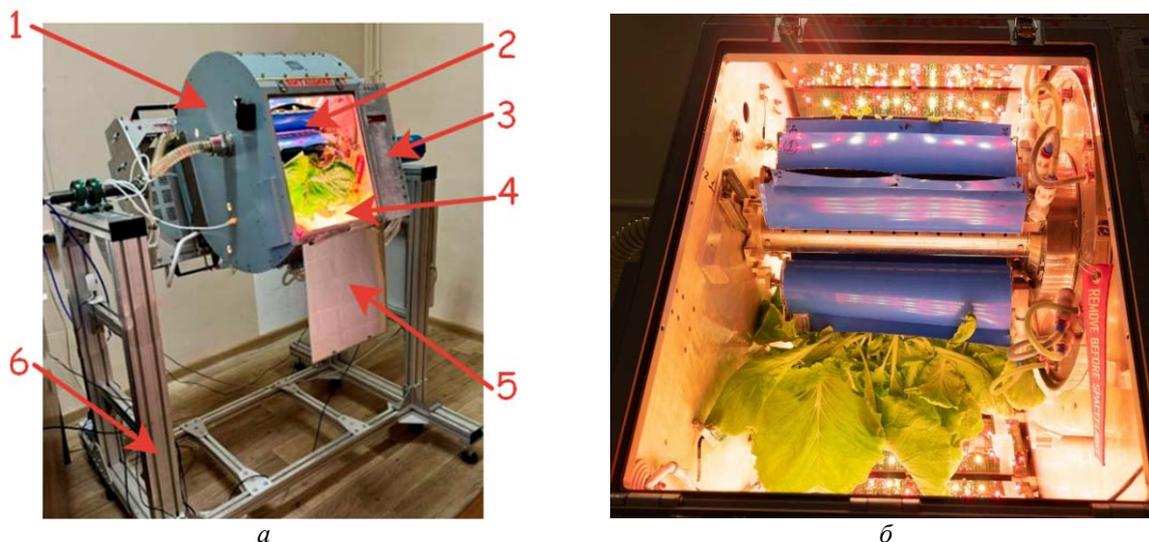


Рис. 4. Научная аппаратура «Витацикл-Т»:

а – внешний вид аппаратуры в наземном испытательном стенде:

- 1 – наружный корпус вегетационного модуля; 2 – корневой модуль; 3 – блок управления и регистрации; 4 – светильник; 5 – люк откидной; 6 – наземный испытательный стенд;
б – внутренний объём вегетационного модуля с конвейерным посевом капусты китайской

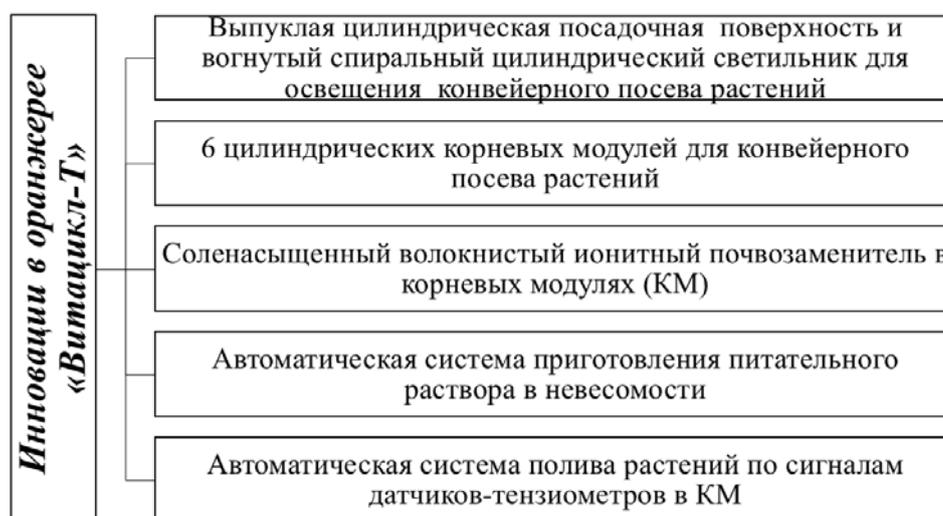


Рис. 5. Перечень инноваций в конструкции научной аппаратуры «Витацикл-Т»

Инновационный вегетационный модуль КО «Витацикл-Т» предназначен для размещения и культивирования конвейерного посева растений, а также для предоставления возможности посадки семян и уборки урожая в шести корневых модулях через единый откидной люк. Кроме того, ВМ обеспечивает крепление ряда других узлов оранжереи, а именно блока насосов и клапанов, модуля освещения и вентиляции (МОВ), ряда датчиков блока управления и регистрации. Снаружи корпус ВМ имеет форму тела, ограниченного цилиндрической поверхностью с направляющей в форме дуги спирали, соответствующей зависимости высоты растений от возраста для выбранных видов растений и от условий культивирования. Блок из шести корневых цилиндрических КМ, установленных вдоль продольной оси цилиндрического ВМ, представляет собой по наружной огибающей квазицилиндрическую посадочную поверхность для шести шагов растительного конвейера. На внутренней поверхности корпуса ВМ смонтирован светодиодный светильник из двенадцати удлинённых прямоугольных светодиодных плат с красно-белым излучением, направляющих световой поток внутрь по направлению к корневым модулям. Расстояния между поверхностью каждого КМ до светодиодов соответствуют высоте растений на данном шаге растительного конвейера. По мере подрастания растений раз в четыре дня все посеы поворачиваются на угол 60° по отношению к внешнему корпусу-светильнику против часовой стрелки. Как показано в работе [4], подобная компоновка посева, светильника и шести КМ с посевами разных возрастов позволяет сократить удельные затраты световой энергии на прирост единичной биомассы приблизительно на 30%.

В составе НА разработана оригинальная конструкция корневых модулей. Каждый КМ имеет вид валика из волокнистого почвозаменителя (ПЗ), который состоит из тонких соленасыщенных анионитных и катионитных ионообменных волокон (рис. 6). Войлок из смеси таких волокон намотан на сборку из стальной нержавеющей перфорированной поливной трубки и параллельной трубки из пористого титана. Пористая трубка служит датчиком-тензиометром для измерения водного потенциала в прикорневой среде растений, а через перфорированную трубку регулятор полива растений подаёт воду или питательный раствор в ПЗ по мере его подсыхания. Валик имеет форму цилиндра длиной 250 мм и диаметром 60 мм. Снаружи КМ обёрнуты светонепроницаемыми пластиковыми чехлами с продольной щелью для выхода побегов растений. В продольные щели валика вставляются посадочные планки с семенами растений.

Описанная конструкция КМ в условиях невесомости позволяет корням растений распределяться равномерно по всему осесимметричному объёму ПЗ за счёт свойства их акватропизма, уменьшает испарение с поверхности КМ, предохраняет корневую систему от засветки, а также обеспечивает оптимальный водно-воздушный режим в корнеобитаемой зоне.



Рис. 6. Корневой модуль оранжереи «Витацикл-Т»:

а – продольный разрез корневого модуля: 1 – трубка-тензиометр из пористого титана; 2 – перфорированная трубка для подачи раствора; 3 – торцевая щечка; 4 – гидроразъёмы; 5 – валик из волокнистого почвозаменителя; б – посадочная планка; б – корневой модуль в сборке

В качестве прикорневой среды в КМ оранжереи использован инновационный волокнистый соленасыщенный ионитный почвозаменитель. Ранее в России и Белоруссии были разработаны несколько типов гранульных и волокнистых ионообменных ПЗ на основе соленасыщенных синтетических ионообменных смол [8]. В состав почвозаменителей входили насыщенные ионами удобрений слабокислотный катионит ФИБАН К-2 и анионит ФИБАН АК-22-1. Для оранжереи «Витацикл Т» был использован новый волокнистый материал на основе таких ионообменных смол. Волокнистый ПЗ сохраняет свою капиллярно-пористую структуру в условиях невесомости и не содержит несвязанных частиц, ему не нужны оболочки для сохранения формы при отсутствии динамической силы тяжести. Однако для обеспечения адекватной подачи воды и ионов нутриентов, а также кислорода к корням растений в невесомости, как показали испытания, плотность волокнистого ПЗ должна находиться в пределах $0,11 \dots 0,14 \text{ г/см}^3$.

Недостатком ионитных ПЗ является сравнительно невысокая удельная ёмкость ионного обмена. Для повышения ресурса работы ПЗ в КО «Витацикл Т» была применена новая технология обогащения поливной воды удобрениями. Автоматическая система приготовления питательного раствора работает следующим образом. Для доставки нутриентов к корням растений бортовая питьевая вода прокачивается дозами последовательно в обогатительный патрон с гранулированным ионитом, а затем в смесительную камеру и в накопительный резервуар питательного раствора (рис. 7). Растения в процессе вегетации расходуют запас воды и солей из питательного раствора. При понижении электропроводности раствора, зависящей от суммарной концентрации солей в нём, по сигналу кондуктометра вода из смесительной камеры прокачивается через байпасную систему обогащения поливной воды по замкнутому контуру: проходит через обогатительный патрон с медленно действующими удобрениями (МДУ), обогащается ионами и возвращается в смесительную камеру, перемешиваясь с исходным обеднённым раствором, вплоть до достижения заданного значения электропроводности в рабочем растворе. После этого очередная доза раствора, обогащённого ионами солей, автоматически подаётся в накопительный резервуар для питательного раствора.

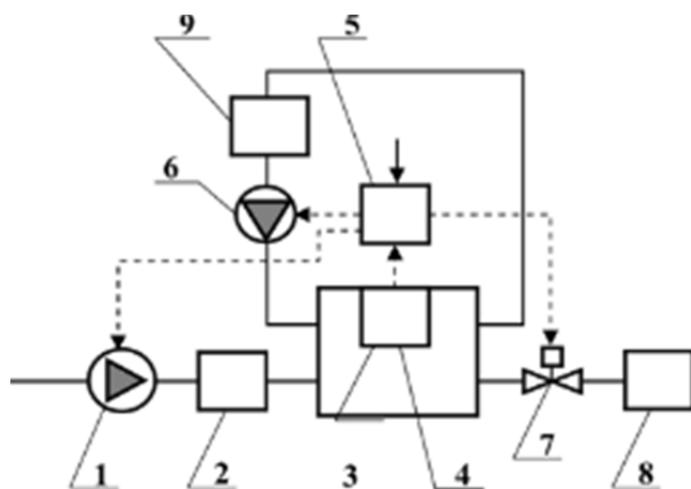


Рис. 7. Упрощённая блок-схема автоматической системы приготовления питательного раствора в космической оранжерее «Витацикл -Т»:
1; 6 – перистальтические насосы; 2 – обогатительный патрон с гранулированным ионообменным почвозаменителем; 3 – смесительная камера; 4 – кондуктометр; 5 – регулятор; 7 – электрический клапан; 8 – накопительный резервуар питательного раствора; 9 – обогатительный патрон с медленно действующим удобрением *Ostocote 14-14-14™*

Для организации полива шестишагового конвейерного посева с растениями различных возрастов была разработана новая автоматическая система полива по сигналам датчиков-тензиометров, измеряющих водный потенциал в капиллярах волокнистого ПЗ в каждом из КМ. Шестиканальный релейный регулятор с тензиометрами в цепях отрицательной обратной связи, запрограммированный в микроконтроллере БУР, осуществляет раздельную подачу воды из накопительного резервуара в шесть КМ с помощью перистальтических насосов. Управление командами между БУР и составными частями НА осуществляет встроенное программно-математическое обеспечение (ПМО), которое тоже функционирует на базе микроконтроллера. ПМО осуществляет сбор, обработку, хранение данных и запись данных на карту памяти.

НА «Витацикл-Т» обеспечивает круглосуточный и непрерывный режим выращивания конвейерного посева, обеспечивая через каждые четверо суток урожай свежей витаминной зелени. В процессе наземных испытаний привод наземного испытательного стенда непрерывно вращал ВМ с посевами растений со скоростью $9 \pm 0,15$ об/час. В процессе биолого-технических испытаний были получены следующие результаты: средние ежесуточные урожаи листовой капусты в КО составили 84 г, а трудозатраты по обслуживанию эксперимента при наземных испытаниях не превышали 5,5 мин в сутки.

За период испытаний средние значения биомассы урожаев в корневых модулях оранжереи превышали таковые в неподвижном лабораторном контрольном стенде в 1,9 раза, при этом урожайность посевов на первом и втором оборотах растительного конвейера не имела статистически достоверных различий. Растения, выращенные в оранжерее «Витацикл-Т», имели типичную сортовую окраску и размеры. Органолептические испытания выявили нежную консистенцию, приятный вкус и отсутствие опушённости и горечи в листьях. Содержание витаминов С и А в выращенной биомассе китайской капусты соответствовало сортовым нормам; полученные урожаи могли бы полностью покрыть потребности в этих витаминах для одного космонавта. Более подробное описание конструкции и работы блоков НА «Витацикл-Т» приведено в работе [9].

Перспективы применения витаминных оранжерей типа «Витацикл-Т» в космических биолого-технических системах жизнеобеспечения

В длительных автономных космических экспедициях актуальной является задача обогащения рациона членов экипажа свежей витаминной зеленью, поскольку сроки хранения ряда витаминных препаратов, ежедневно необходимых для поддержания здоровья космонавтов, не превышают 1 – 3 лет [10]. Кроме того, существует ряд экспериментальных данных, подтверждающих положительный психофизиологический эффект, оказываемый такими элементами земной биосферы, как растения, на членов экипажа в техногенной среде изолированных обитаемых объектов [11 – 14]. Включение природных элементов в среду обитания человека – так называемый биофильный дизайн – может облегчить стресс и улучшить когнитивные способности космонавтов [13; 15; 16;]. Это также способствует хорошему физическому и психическому самочувствию [17 – 19]. В целом, к преимуществам космических БТСЖО с КО можно отнести улучшение среды обитания экипажа за счёт обогащения рациона питания свежей зеленью с хорошо усвояемыми витаминами и минералами; эмоционально-психологическую поддержку космонавтов при общении с элементом земной биосферы и снижение проблемы свободного времени в ограниченном пространстве при длительных полётах.

Работа была выполнена при финансировании Госкорпорацией «Роскосмос» а также частично в рамках плановой темы фундаментальных исследований РАН, шифр темы FMFR-2024-0035.

Библиографический список

1. Циолковский К.Э. Грёзы о Земле и небе: научно-фантастические произведения. Тула: Приокское книжное издательство, 1986. 448 с.
2. Nechitailo G.S., Mashinsky A.L. Space biology: Studies at orbital stations. М.: Мир, 1993. 504 p.
3. Левинских М.А. Космическая биология растений // Космическая биология и медицина. 2022. Т. 1. С. 93-118.
4. Беркович Ю.А., Кривобок Н.М., Смолянина С.О., Ерохин А.Н. Космические оранжереи: настоящее и будущее. М.: Фирма «Слово». 2005. 368 с.
5. Ewert M.K., Chen T.T., Powell C.D. Life support. Baseline values and assumptions document. NASA/TP-2015–218570/REV2.
6. Беркович Ю.А., Смолянина С.О., Железняков А.Г., Гузенберг А.С. Перспективы применения космических оранжерей в комплексе систем жизнеобеспечения космонавтов в условиях лунной орбитальной станции, лунной базы и межпланетных транспортных кораблей // Космическая техника и технологии. 2019. № 2 (25). С. 37-54. DOI: 10.33950/spacetech-2308-7625-2019-2-37-54
7. Zyablova N.V., Berkovich Yu.A., Erokhin A.N., Skripnikov A.Yu. The gravitropic and phototropic responses of wheat grown in a space greenhouse prototype with hemispherical planting surface // Advances in Space Research. 2010. V. 46, Iss. 10. P. 1273-1279. DOI: 10.1016/j.asr.2010.05.033
8. Berkovich Y.A., Krivobok N.M., Krivobok S.M., Matusевич V.V., Soldatov V.S. Development of a root feeding system based on a fiber ion-exchange substrate for space plant growth chamber Vitacycle // Habitation. 2003. V. 9, Iss. 1-2. P. 59-65. DOI: 10.3727/1542966034605261
9. Беркович Ю.А., Смолянина С.О., Беляк А.М., Шляев П.В., Конюхов А.С., Дмитриев М.Д., Железняков А.Г., Козлова Е.Ю. Конвейерная космическая оранжерея «Витацикл-Т» для российского сегмента МКС // Космическая техника и технологии. 2025. № 1 (48). С. 6-22.
10. Berkovich Yu.A., Smolyanina S.O., Krivobok N.M., Erokhin A.N., Agureev A.N., Shanturin N.A. Vegetable production facility as a part of a closed life support system in a Russian Martian space flight scenario // Advances in Space Research. 2009. V. 44, Iss. 2. P. 170-176. DOI: 10.1016/j.asr.2009.03.002
11. Гущин В.И., Швед Д.М., Левинских М.А., Виноходова А.Г., Сигналлова О.Б., Смолеевский А.Е. Экопсихологические исследования в условиях 520-суточной изоляции // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2014. Т. 48, № 3. С. 25-29.
12. Mauerer M., Schubert D., Zabel P., Bamsey M., Kohlberg E., Mengedocht D. Initial survey on fresh fruit and vegetable preferences of Neumayer Station crew members: Input to crop selection and psychological benefits of space-based plant production systems // Open Agriculture. 2016. V. 1, Iss. 1. P. 179-188. DOI: 10.1515/opag-2016-0023
13. Odeh R., Guy C.L. Gardening for therapeutic people-plant interactions during long-duration space missions // Open Agriculture. 2017. V. 2, Iss. 1. P. 1-13. DOI: 10.1515/opag-2017-0001
14. Li Z.M., Zhang W.Z., Liu H. Psychophysiological and cognitive effects of strawberry plants on people in insolated environments // Journal of Zhejiang University: Science B. 2020. V. 21, Iss. 1. P. 53-63. DOI: 10.1631/jzus.b1900331
15. Yin J., Zhu Sh., Macnaughton P., Allen J.G., Spengler J.D. Physiological and cognitive performance of exposure to biophilic indoor environment // Building and Environment. 2018. V. 132. P. 255-262. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.01.006
16. Zhang G.C., Wu G.W., Yang J. The restorative effects of short-term exposure to nature in immersive virtual environments (IVEs) as evidenced by participants' brain activities

// Journal of Environmental Management. 2023. V. 326.
DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.116830

17. Qin J., Sun Ch., Zhou X., Leng H., Lian Zh. The effect of indoor plants on human comfort // *Indoor and Built Environment*. 2014. V. 23, Iss. 5. P. 709-723.
DOI: 10.1177/1420326x13481372

18. Michels N., Debra G., Mattheeuws L., Hooyberg A. Indoor nature integration for stress recovery and healthy eating: A picture experiment with plants versus green color // *Environmental Research*. 2022. V. 212. DOI: 10.1016/j.envres.2022.113643

19. Bentley P.R., Fisher J.C., Dallimer M., Fish R.D., Austen G.E., Irvine K.N., Davies Z.G. Nature, smells, and human wellbeing // *Ambio*. 2023. V. 52, Iss. 1. P. 1-14.
DOI: 10.1007/s13280-022-01760-w

VITAMIN SPACE GREENHOUSE AS AN ELEMENT OF ADVANCED BIOLOGICAL AND TECHNICAL SUPPORT FOR SPACE CREWS

© 2025

Yu. A. Berkovich Doctor of Science (Engineering), Professor, Head of the Laboratory;
State Research Center of the Russian Federation Institute of Medical
and Biological Problems of the Russian Academy of Sciences
(SRC RF – IMBP RAS), Moscow, Russian Federation;
berkovich@imbp.ru

A. M. Belyak Master of Biology, Junior Researcher;
State Research Center of the Russian Federation Institute of Medical
and Biological Problems of the Russian Academy of Sciences
(SRC RF – IMBP RAS), Moscow, Russian Federation;
belyak@imbp.ru

A. A. Buryak Master of Physics, Lead engineer;
Technological Innovations LLC, Moscow, Russian Federation;
aa.gbiotech@proton.me

Yu. I. Smirnov Head of the Laboratory;
State Research Center of the Russian Federation Institute of Medical
and Biological Problems of the Russian Academy of Sciences
(SRC RF – IMBP RAS), Moscow, Russian Federation;
yusmirnov@imbp.ru

A. A. Ivanova Junior Research Fellow;
State Research Center of the Russian Federation Institute of Medical
and Biological Problems of the Russian Academy of Sciences
(SRC RF – IMBP RAS), Moscow, Russian Federation;
aaivanova@imbp.ru

The design of a vitamin space greenhouse for the Vitacycle-T space experiment on the Russian segment of the ISS is described. The preproduction model of Vitacycle-T successfully passed autonomous tests at the IMBP RAS in 2024. The total area of crops illuminated by LEDs in the vegetation module is 0.4 m², and its volume is 0.09 m³. The power consumption of the installation is about 870 watts. The average daily yield of cabbage leaves in the space greenhouse was 84 g, and the labor costs for the maintenance of the space experiment during ground tests did not exceed 5.5 minutes per day. The space greenhouse will be able to meet the needs of one astronaut in vitamins A and C. The test results allow us to consider the Vitacycle-T vitamin greenhouse as a promising element for future biological and technical life support systems for space crews.

Biotechnical life support system for astronauts; space greenhouse; plant conveyor; long-range space missions

Citation: Berkovich Yu.A., Belyak A.M., Buryak A.A., Smirnov Yu.I., Ivanova A.A. Vitamin space greenhouse as an element of advanced biological and technical support for space crews. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2025. V. 24, no. 2. P. 7-18. DOI: 10.18287/2541-7533-2025-24-2-7-18

References

1. Tsiolkovskiy K.E. *Grezy o Zemle i nebe: nauchno-fantasticheskie proizvedeniya* [Dreams of Earth and sky: science fiction works]. Tula: Priokskoe Knizhnoe Izdatel'stvo Publ., 1986. 448 p.
2. Nechitailo G.S., Mashinsky A.L. *Space Biology: Studies at orbital stations*. Moscow: Mir Publ., 1993. 504 p.
3. Levinskikh M.A. Space biology of plants. *Space Biology and Medicine*. 2022. V. 1. P. 93-118. (In Russ.)
4. Berkovich Yu.A., Krivobok N.M., Smolyanina S.O., Erokhin A.N. *Kosmicheskie oranzherei: nastoyashchee i budushchee* [Space greenhouses: present and future]. Moscow: Firma «Slovo» Publ., 2005. 368 p.
5. Ewert M.K., Chen T.T., Powell C.D. Life support. Baseline values and assumptions document. NASA/TP-2015–218570/REV2.
6. Berkovich Y.A., Smolyanina S.O., Zheleznyakov A.G., Gusenberg A.S. Prospects for using space greenhouses as a part of a suite of crew life support systems of a lunar orbital station, a lunar base and interplanetary transfer vehicles. *Space Engineering and Technology*. 2019. No. 2 (25). P. 37-54. (In Russ.). DOI: 10.33950/spacetech-2308-7625-2019-2-37-54
7. Zيابlova N.V., Berkovich Yu.A., Erokhin A.N., Skripnikov A.Yu. The gravitropic and phototropic responses of wheat grown in a space greenhouse prototype with hemispherical planting surface. *Advances in Space Research*. 2010. V. 46, Iss. 10. P. 1273-1279. DOI: 10.1016/j.asr.2010.05.033
8. Berkovich Y.A., Krivobok N.M., Krivobok S.M., Matushevich V.V., Soldatov V.S. Development of a root feeding system based on a fiber ion-exchange substrate for space plant growth chamber Vitacycle. *Habitation*. 2003. V. 9, Iss. 1-2. P. 59-65. DOI: 10.3727/1542966034605261
9. Berkovich Y.A., Smolyanina S.O., Belyak A.M., Shlyayev P.V., Konyukhov A.S., Dmitriev M.D., Zheleznyakov A.G., Kozlova E.Y. Conveyor-type space greenhouse Vitacycle-T for the Russian segment of the International Space Station. *Space Engineering and Technology*. 2025. No. 1 (48). P. 6-22. (In Russ.)
10. Berkovich Yu.A., Smolyanina S.O., Krivobok N.M., Erokhin A.N., Agureev A.N., Shanturin N.A. Vegetable production facility as a part of a closed life support system in a Russian Martian space flight scenario. *Advances in Space Research*. 2009. V. 44, Iss. 2. P. 170-176. DOI: 10.1016/j.asr.2009.03.002
11. Gushchin V.I., Shved D.M., Levinskikh M.A., Vinokhodova A.G., Signalova O.B., Smoleevskiy A.E. Ecopsychological investigations in 520-day isolation. *Aerospace and Environmental Medicine*. 2014. V. 48, no. 3. P. 25-29. (In Russ.)
12. Mauerer M., Schubert D., Zabel P., Bamsey M., Kohlberg E., Mengedoht D. Initial survey on fresh fruit and vegetable preferences of Neumayer Station crew members: Input to crop selection and psychological benefits of space-based plant production systems. *Open Agriculture*. 2016. V. 1, Iss. 1. P. 179-188. DOI: 10.1515/opag-2016-0023
13. Odeh R., Guy C.L. Gardening for therapeutic people-plant interactions during long-duration space missions. *Open Agriculture*. 2017. V. 2, Iss. 1. P. 1-13. DOI: 10.1515/opag-2017-0001
14. Li Z.M., Zhang W.Z., Liu H. Psychophysiological and cognitive effects of strawberry plants on people in insolated environments. *Journal of Zhejiang University: Science B*. 2020. V. 21, Iss. 1. P. 53-63. DOI: 10.1631/jzus.b1900331
15. Yin J., Zhu Sh., Macnaughton P., Allen J.G., Spengler J.D. Physiological and cognitive performance of exposure to biophilic indoor environment. *Building and Environment*. 2018. V. 132. P. 255-262. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.01.006

16. Zhang G.C., Wu G.W., Yang J. The restorative effects of short-term exposure to nature in immersive virtual environments (IVEs) as evidenced by participants' brain activities. *Journal of Environmental Management*. 2023. V. 326. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.116830
17. Qin J., Sun Ch., Zhou X., Leng H., Lian Zh. The effect of indoor plants on human comfort. *Indoor and Built Environment*. 2014. V. 23, Iss. 5. P. 709-723. DOI: 10.1177/1420326x13481372
18. Michels N., Debra G., Mattheeuws L., Hooyberg A. Indoor nature integration for stress recovery and healthy eating: A picture experiment with plants versus green color. *Environmental Research*. 2022. V. 212. DOI: 10.1016/j.envres.2022.113643
19. Bentley P.R., Fisher J.C., Dallimer M., Fish R.D., Austen G.E., Irvine K.N., Davies Z.G. Nature, smells, and human wellbeing. *Ambio*. 2023. V. 52, Iss. 1. P. 1-14. DOI: 10.1007/s13280-022-01760-w