

КОНВЕЙЕРНЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ОРАНЖЕРЕИ В СОСТАВЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЭКИПАЖЕЙ

Ю.А. Беркович

Учреждение Российской академии наук Государственный научный центр РФ – Институт медико-биологических проблем (Москва, Россия).

При увеличении продолжительности пилотируемых космических полетов наиболее выгодным по характеристикам приведенной массы становится применение регенерационных систем жизнеобеспечения (СЖО). Одним из важных условий реализации длительных автономных пилотируемых космических экспедиций является создание нового поколения регенерационных систем жизнеобеспечения, способных обеспечить для экипажа более безопасную и полноценную с биологической точки зрения среду обитания. Практически во всех сценариях марсианской пилотируемой экспедиции в состав СЖО специалисты включают витаминную оранжерею с потребляемой мощностью 0,5-1,0 кВт, способных обеспечивать экипаж легкоусвояемыми витаминами и минералами и оказывать психоэмоциональную поддержку в длительном автономном полёте. В 1990-х годах для оценки эффективности высших растений в биотехнических системах жизнеобеспечения был применён показатель эквивалентной массы системы (ЭМС). Точность оценки бортовых ресурсов в терминах эквивалентной массы для ещё несозданных СЖО не может быть велика, поэтому мы предложили критерий в виде максимума произведения удельной продуктивности посева по съедобной биомассе на единицу занимаемого объёма и единицу потребляемой световой энергии. Критерий оптимальности для посева растений на плоской посадочной поверхности принял вид:

$\Omega = P \cdot K_x / (H \cdot E \cdot t)$, где P – продуктивность посева по съедобной биомассе ($г/(м^2 \cdot \text{день})$), K_x – безразмерный коэффициент хозяйственного использования, или доля съедобной части в биомассе выращиваемых растений; H – максимальная высота растений в съёмном возрасте (включая подземную часть), в м; E – суточное количество фотосинтетически активных фотонов ($моль/(м^2 \cdot \text{день})$), падающих на посев, t – безразмерная доля светового периода в сутках, Ω имеет размерность: $г/(м^3 \cdot \text{моль} \cdot \text{день})$. Из выражения для Ω – критерия очевидно, что чем выше его значение, тем выгоднее посев с точки зрения эффективности использования внешних ресурсов. Для максимизации удельной производительности космической оранжереи на затраченные ресурсы по предложенному критерию в ГНЦ РФ ИМБП РАН была создана новая компоновка и технология для космической конвейерной цилиндрической оранжереи с самораздвигающимся посевом растений. Значение Q -критерия для конвейерного посева растений на цилиндрической

поверхности можно выразить уравнением: $Q = \frac{M_s \cdot (K_{x_s})^2}{\left(\sum_{i=1}^n V_i\right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n E_i\right) \cdot T_s}$, где M_s и K_{x_s} – средние значения сухой

биомассы и коэффициент хозяйственного использования растений на последнем шаге конвейерного посева, T_s – длительность шага конвейерного посева, V_i и E_i – объём, занимаемый посевом и энергия фотосинтетически активной радиации, падающей на посев на i -том шаге конвейера за время T_s , $V_i = 2\pi(H_i)^2 L$; S – количество шагов в конвейерном посеве. Расчёты показали, что Q -критерий для посевов пшеницы имеет существенно меньшее значение, чем для листовых овощей. С помощью такого критерия удаётся обосновать выбор основных параметров светового режима, а также оптимальную длительность вегетации и длительность шага растительного конвейера для зеленных культур в конвейерных космических оранжереях. При этом необходимо контролировать основные показатели качества биомассы, убираемой с различных шагов конвейера в вегетационном опыте, например вкусовые качества, содержание витаминов, нитратов и т.д. Конвейерные цилиндрические оранжереи обладают следующими основными преимуществами.

- Вегетационная камера в форме спирального цилиндра, позволяет приблизительно вдвое уменьшить занимаемый оранжереей объём по сравнению с плоской камерой при равной освещаемой поверхности посева.
- Выпуклая цилиндрическая посадочная поверхность обеспечивает улучшение светораспределения в посеве и увеличение на 30 % удельной производительности оранжереи на единицу потребляемой для фотосинтеза растений энергии.
- Светильник с вогнутой цилиндрической светящей поверхностью, построенный на основе красных и синих светодиодов, позволяет увеличивать его КПД и рабочий ресурс.
- Блок корневых модулей, состоящий из отдельных изолированных модулей, позволяет организовать конвейерный посев зеленных растений, в том числе различных видов и сортов, что позволяет уменьшить потери на хранение урожая.
- Процесс выращивания растений по принципу ротационного конвейера с единым местом проведения всех технологических операций позволяет снижать трудозатраты на обслуживание и при необходимости механизировать эти операции.

В целом, конвейерная цилиндрическая оранжерея позволяет в 5-7 раз повысить удельную производительность на затраченные ресурсы по сравнению с оранжереями с традиционной плоской компоновкой. В настоящее время разрабатывается полётный вариант салатной конвейерной цилиндрической оранжереи для российского сегмента Международной космической станции. С использованием цилиндрической компоновки разработана концепция конвейерной 4-модульной овощной оранжереи для обеспечения витаминами экипажа транспортного марсианского корабля.