

**А. И. Чайковский**, кандидат сельскохозяйственных наук,  
доцент, директор

РУП «Институт овощеводства», аг. Самохваловичи, Минский район

## **«ЦИФРОВАЯ ТЕПЛИЦА»: КЛЮЧЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОВОЩЕВОДСТВА В КОНТРОЛИРУЕМЫХ УСЛОВИЯХ**

### **РЕЗЮМЕ**

*Рассмотрены ключевые технологии, применяемые в «цифровых теплицах». Обобщены теоретические и практические данные по особенностям использования высоких технологий при выращивании овощной продукции в контролируемых условиях.*

*Ключевые слова:* «цифровая теплица»; «умная теплица»; вертикальная теплица; роботизация; многоярусная узкостеллажная гидропоника; многоярусная фитоустановка; светодиодные светильники.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В обеспечении здоровья населения важная роль отводится рациональному питанию, под которым понимается развитая культура потребления пищевых продуктов на уровне домашних хозяйств, наилучшим образом удовлетворяющая потребности организма человека в энергии и жизненно важных веществах в конкретных условиях его жизнедеятельности.

По современным представлениям в основе здорового питания лежит гармоничное сочетание животной и растительной пищи, а одним из ключевых компонентов рациона являются овощи. Их ценность и незаменимость заключаются в том, что в них, помимо прочего, содержатся витамины, соли, кислоты и другие вещества, улучшающие вкус пищи и ее усвояемость. Овощи оказывают значительное воздействие на деятельность нервной системы, пищеварительного тракта и органов внутренней секреции, повышают устойчивость организма к инфекционным заболеваниям [1].

Условия обеспечения населения нужным количеством овощей определяются демографической ситуацией. Это связано с различными потребностями в них разных групп (в зависимости от возраста, пола и коэффициента физической активности научно обоснованные нормы потребления овощей и бахчевых находятся в диапазоне 70–182 кг в год) и неодинаковыми условиями снабжения продовольствием города и деревни. У жителей сельской местности по сравнению с горожанами имеется больше возможностей для ведения подсобного хозяйства с целью обеспечить себя продуктами питания, особенно плодоовощной продукцией. Высокая плотность населения в городах создает предпосылки для развития инфраструктуры по снабжению их жителей продовольственными товарами на промышленной основе, круглогодичными поставками свежих овощей [1].

Основной объем овощей в Республике Беларусь производится в открытом грунте, а их выращивание во внесезонное время возможно лишь в сооружениях с различными видами укрытий – в виде теплиц. Тепличная форма защищенного грунта стала основой, где происходит создание требуемых условий для высокой продуктивности культур, особенно в зимний, ранневесенний и позднесенний периоды. В этой связи развитие тепличного овощеводства является важной народно-хозяйственной задачей в плане обеспечения городского населения свежими овощами на круглогодичной основе.

## **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

По поколениям теплицы делят на шесть типов. Первые два типа (укрытия, парники и др.) в настоящее время используются в секторе любительского овощеводства и мелких фермеров и представляют незначительный интерес. Практически выводят из обращения теплицы третьего поколения – типа «Антрацит» (по названию города с заводом в Луганской области). Наиболее распространенные сегодня теплицы четвертого поколения – теплицы типа «Венло». За последние 15–20 лет именно такие теплицы массово строили и продолжают строить в странах Восточной Европы [2].

Разновидностью теплиц типа «Венло» являются усовершенствованные теплицы пятого поколения, так называемые теплицы полужакрытого типа. Фирмы-производители их называют каждый по-своему – UltraClima (Kubo), ModulAir (Van der Hoeven), Eco-Greenhouse (KGP), OptimAir (Richel), SuprimAir (Certhon) и др. Такие теплицы (отдельные образцы) построены в Европе и Северной Америке, а также в России (ТК «Липецк-Агро», г. Даньков Липецкой области). В основу работы современных тепличных комплексов положены принципы интенсивного производства овощей с глубокой автоматизацией процессов выращивания. В наибольшей мере роботизированы система питания через капельное орошение, подача CO<sub>2</sub>, режимы температуры и влажности. Высокой степени автоматизации подвергнуты подготовка субстрата, высевание семян, выращивание рассады, зеленных культур [2].

Современный тепличный комплекс – это сложная техническая инфраструктура. Она включает металлоконструкции, светопрозрачный материал кровли и 17 инженерно-технологических систем, которые обеспечивают создание оптимальных условий для выращивания растений:

1. Система отопления.
2. Система ирригации.
3. Система досвечивания.
4. Система испарительного охлаждения.
5. Система подачи углекислого газа.
6. Система зашторивания.
7. Система вентиляции.
8. Система рециркуляции воздуха.
9. Система дежурного освещения.
10. Система электроснабжения.

11. Система освещения рассадного отделения.
12. Система сбора дренажных стоков и вторичного использования.
13. Система сбора дождевой воды.
14. Система орошения рассадного отделения.
15. Метеорологическая станция.
16. Термокамеры для проращивания семян.
17. Система управления технологическими процессами [3, с. 274].

На текущем этапе прорабатывается вопрос создания робота-манипулятора для опыления цветков и уборки плодов томата, огурца, перца и других культур. Учеными разных стран экспериментально проработаны возможности вертикальных теплиц, а также многоярусной узкостеллажной гидропоники. Проводятся теоретические исследования теплиц шестого поколения – полностью закрытых. В литературных источниках указывается, что средняя урожайность овощей в теплицах третьего поколения типа «Антроцит» составляет  $40 \text{ кг/м}^2$ , в теплицах четвертого поколения типа «Венло» –  $60$ , в теплицах пятого поколения (полузакрытого типа) –  $110 \text{ кг/м}^2$ . Плотность установки растений при использовании многоярусной узкостеллажной гидропоники позволяет прогнозировать урожайность до  $200 \text{ кг/м}^2$  [4].

Во многих лабораториях мира идет поиск применения высоких технологий в тепличном овощеводстве для оптимизации эффективности производственной системы теплиц. Среди них такие направления и тенденции, как роботизированные теплицы, нанотехнологии, интерактивная среда, сенсорные и светодиодные системы и др. Развитию вышеуказанных направлений способствует тот факт, что огромные тепличные комплексы выработали свой ресурс дальнейшего технологического и технического развития. Такая организация тепличного производства несет большие энергетические и финансовые потери и представляет серьезную проблему для экологии.

Объединение самых передовых технологий в тепличном овощеводстве возможно на основании концепции «цифровая теплица». Для обозначения понятия «цифровая теплица» различные авторы также используют термины «умная теплица» и «SMART-теплица» [5–8; 9, с. 86]. Суть всех определений, описывающих «цифровую теплицу», выражается в автономной работе на основе использования роботизации и современных цифровых технологий с минимальным участием человека для максимизации урожайности и минимизации затрат. При этом некоторые авторы дополнительно указывают на полную изоляцию от окружающей среды [5, 7].

Для «цифровых теплиц» основными являются такие технологии, как роботизация, светодиодные светильники и вертикальные фермы. Вертикальные фермы условно можно разделить на гидропонные и почвенные, которые в своей основе используют многоярусную узкостеллажную гидропонику и многоярусную фитоустановку. Рассмотрим более подробно возможности применения таких технологий в тепличном овощеводстве.

Появление высокоэффективных светодиодных светильников способствовало активному развитию систем искусственного выращивания растений по

технологии полной светокультуры. Светодиод в отличие от традиционных источников оптического излучения легко управляется не только по интенсивности излучения, но и по спектральному составу. Появление более дешевых и мощных микропроцессоров и, как следствие, удешевление вычислительных мощностей также способствовало развитию направления полной светокультуры. Таким образом, сегодня имеется возможность создавать недорогие умные системы освещения [10].

Благодаря эволюции светодиодных ламп стало возможным выращивать растения, размещая их ярусами. Так появились вертикальные фермы самой разной направленности. Вертикальная ферма – это многоярусная теплица, которую можно разместить в любом закрытом помещении. А главное отличие такой фермы от обычной теплицы – в ней не используется солнечный свет, нет поступления внешнего воздуха, а воды используется меньше на 95 % [11].

Традиционные технологии выращивания растений предполагают формирование растений по одностебельной схеме на шпалерах высотой 4,5–5,0 м. При этом активная плодоносящая зона растения составляет 40–50 см, а дальше происходит смена репродуктивных ярусов растения по мере роста вверх. На смену такой технологии приходит многоярусная узкостеллажная гидропоника, урожайность в которой в два раза больше. Размещение многоярусной узкостеллажной гидропоники в традиционных теплицах сталкивается с теми же проблемами неэффективного использования площади и объема, что и стандартная технология [12].

В большинстве случаев развитие вертикальных теплиц идет двумя параллельными путями: агротехнологическим и архитектурным, и при этом почти не осуществляются попытки комплексного использования двух способов. Агротехнологический путь развития вертикальных теплиц предполагает использование многоярусной узкостеллажной гидропоники, а архитектурный – многоэтажной конструкции такой теплицы. Многоэтажность отвечает и требованиям зонирования технологических помещений, так как есть возможность создания относительно изолированного этажа под каждое отделение: сеянцев, рассадное и нескольких овощных. Выделение в ходе зонирования под определенную культуру изолированного этажа упрощает процессы автоматического поддержания в каждой зоне собственных фитоклиматических параметров. Перспективным решением является совмещение вертикальной теплицы с торгово-офисным или жилым зданием. В этом случае теплота и углекислота, присутствующие в сбрасываемых воздушных потоках через вытяжную вентиляцию в атмосферу, перенаправляются в помещение теплицы и позволяют экономить энергоресурсы, затрачиваемые на обогрев и получение углекислого газа на подкормку растений. Комплексное использование агротехнологической и архитектурной вертикальности позволяет размещать выращивание растений в помещениях высотой, соответствующей высоте этажей в большинстве типовых жилых зданий, и отвечает принципу их полной конструктивной сочетаемости [12].

Одновременно с применением новых технологий проявились некоторые побочные эффекты. Умные системы освещения для светокультуры нашли широкое применение в вертикальных фермах на основе многоярусных фитоустановок. Такие установки применяются в закрытых помещениях и позволяют более эффективно использовать объем помещения, повышая в разы площадь выращивания растений, что влечет за собой увеличение суммарной мощности установленных фитооблучателей. Несмотря на высокую энергоэффективность светодиодов, около 50 % энергии преобразуется в оптическое излучение и столько же переходит в тепло. При резком включении и выключении светодиодных облучателей в светокультуре происходит резкое снижение и повышение влажности, что приводит к дополнительному стрессу растений. Также высокая влажность способствует развитию болезней. Даже самые мощные климатически установки не могут справиться с такими перепадами температуры и влажности. Решение было найдено путем применения технологии, повторяющей естественные циклы рассвета и заката – синхронизация систем управления мощностью фитосветильников и климатической установки. Таким образом достигается максимальное сглаживание перепадов климата при межфазовых переходах [10].

В тепличных хозяйствах остро стоит вопрос профилактики болезней растений, в том числе ограничения попадания бактерий и спор, переносимых человеком. Требуется строгое соблюдение фитосанитарных норм в процессе вегетации, снижающее количество вторичной инфекции, передающейся на рабочем инструменте, тележках, руках, одежде. Вышеописанная проблема в совокупности со значительным снижением в последние годы стоимости электронных компонентов, распространенностью бесплатного программного обеспечения и средств разработки, увеличением вычислительных мощностей и созданием легких аккумуляторов большой емкости позволяют рассматривать альтернативой ручному труду использование сельскохозяйственных роботов. В роботизированной теплице полное управление может выполняться одним оператором [13].

Внедрение роботов, средств механизации и автоматизации выращивания растений требует изменения конструкций. Необходимо решить вопрос с приводом приводов для обработки земли, систем полива растений без участия человека, управления освещением и микроклиматом. Анализ показал, что все виды имеющихся теплиц не рассчитаны на использование средств механизации и автоматизации технологических процессов выращивания растений. Поставленные задачи требуют изменения самих конструкций теплиц. Они должны быть удобными для размещения и обслуживания роботов, средств механизации и автоматизации, предполагающих создание микроклимата, и максимальную механизацию при посеве семян и сборе урожая. Второй особенностью новых комплексов должен быть удаленный доступ по отношению к возможности управления отдельными узлами «умной теплицы», что уже реализовано, когда в качестве пульта управления используется сотовый телефон [14].

Наиболее перспективным с точки зрения применения технологий «цифровая теплица» является производство микрозелени. Микрозелень (Microgreens) – это новый класс съедобных специализированных растений, определяемых как нежная незрелая зелень, произведенная из семян овощей, трав или зерновых культур, включая дикие виды. Ее обычно собирают на уровне почвы, то есть у основания гипокотилей, после появления первой пары настоящих листьев, когда семядоли полностью расширены (обычно в течение 7–21 дней после прорастания семян, в зависимости от вида и условий выращивания). Выращивание микрозелени происходит в специальных многоярусных установках как в промышленных, так и в бытовых условиях. На рынке уже представлено несколько моделей бытовых приборов – шкафов для этой цели. Например, стоимость одной из них – ANROtech на рынке России составляет 215 тыс. руб. (почти 3 тыс. долл. США). В Институте овощеводства также проводятся научные исследования по данному направлению: изучаются виды субстратов, способы обеззараживания семян, источники освещения, видовой и сортовой потенциал растений семейства бобовых, капусты и других культур как источников микрозелени [1].

В разработках зарубежных исследователей большое внимание уделяется вопросам применения интеллектуальных систем, технологии интернета вещей (IoT) и облачных данных для точного управления энергопотреблением [9, с. 89]. В России также ведутся разработки программного обеспечения на основе облачных технологий. Результатом таких разработок является цифровая модель растения, то есть многофакторная математическая модель, позволяющая в различных комбинациях и режимах достигать максимальной продуктивности. При этом основная задача – получить максимальную урожайность при минимуме затрат энергоресурсов [10].

В результате цифровизации тепличного комплекса происходит его коренное преобразование, заключающееся в изменении технологического уклада, производственных цепочек, системы управления производством и т. д. Тепличные хозяйства являются наиболее перспективными для перехода на автоматизированное и роботизированное производство. Уже сейчас за рубежом в «цифровых теплицах» работают роботы, собирающие урожай, высеивающие семена, удаляющие сорняки, а климат обеспечивается автоматизированными системами управления [15].

Существенное удешевление электронных компонентов позволяет значительно расширить возможности применения «цифровых теплиц». Теоретически и практически прорабатываются возможности применения «цифровых теплиц» для любительского овощеводства – приусадебных хозяйств граждан, дачных участков, малых фермеров. Для снижения стоимости предлагается использовать модульный принцип – каждый модуль является системой контроля одного из параметров со своим блоком управления, датчиками и исполнительными устройствами. Набор из нескольких модулей позволяет выстраивать систему с контролем по требуемым параметрам [16].

Также прорабатываются возможности создания комнатной «цифровой теплицы» – бытового прибора на основании концепции многоярусной фитоустановки. Такое устройство размером с холодильник позволит автоматически выращивать невысокие растения – зеленые овощи с циклом 2–3 недели. Может применяться технология гидропоники или выращивание на обычной почве [17, с. 50].

Для дистанционного отслеживания данных о состоянии микроклимата и внесения корректировок в программы контроля всеми процессами предлагается использовать специальное программное решение с применением интернета вещей (IoT), которое будет доступным для всех пользователей, обладать низкой стоимостью и легкостью в управлении для пользователей смартфонов и ПК [8].

В Беларуси наработки по направлению «цифровая теплица» имеют точечный, ограниченный характер. В Институте природопользования НАН Беларуси разработаны и изучаются субстраты, комплексные органоминеральные удобрения и другие продукты на основе торфа, в Институте физико-органической химии созданы ионитные субстраты для выращивания растений, микроэлементное удобрение на основе наночастиц, в ЦСОТ НАН Беларуси – светодиодные светильники для работы в условиях теплицы, в Институте микробиологии НАН Беларуси – биопестициды, биоудобрения, в Институте овощеводства – сорта овощных культур для выращивания как в открытом грунте, так и в условиях искусственного регулирования микроклимата [1].

Выращивание овощных культур с использованием высоких технологий требует комплексного подхода, который включает подбор сортов, субстрата, оптимизацию технологических параметров, роботизацию процессов подготовки субстрата, посева семян, регулирования микроклимата и обеспечения питания растений, уборки урожая. Глубокое изучение фундаментальных вопросов создания роботизированных теплиц может быть проведено на основе кооперации различных организаций НАН Беларуси в рамках финансирования и реализации комплексной программы.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Отдельные технологии, характерные для «цифровых теплиц», все активнее используются в современных теплицах. Это позволит в некоторой степени получать определенные преимущества по сравнению с традиционным выращиванием тепличной продукции. Вместе с тем комплексное использование таких технологий на научной основе при производстве овощей в полностью контролируемых условиях позволит перейти на новый технологический уклад и существенно повысить эффективность производства овощной продукции. Строительство «цифровых теплиц» в городской среде обеспечит развитие инфраструктуры по снабжению жителей свежей овощной продукцией равномерно в течение года.

## **Список использованных источников**

1. Чайковский, А. И. Основные тренды обеспечения населения овощной продукцией / А. И. Чайковский // Наука и инновации. – 2021. – № 3 (217). – С. 51–56.

2. Технологические и конструктивные особенности современных стеклянных теплиц / А. И. Чайковский [и др.] // Овощеводство : сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т овощеводства. – Минск, 2017. – Т. 25. – С. 161–172.
3. Аутко, А. А. Технологии возделывания овощных, бахчевых культур, картофеля, пряно-ароматических и лекарственных растений / А. А. Аутко [и др.] ; под общ. ред. А. А. Аутко // Нац. акад. наук Беларуси, Отделение аграр. наук, М-во с. х. и прод., Гродненский гос. аграр. ун-т. – 2-е изд. – Минск : Беларус. навука. – 2022. – 614 с.
4. Ключевые факторы повышения эффективности защищенного грунта при использовании полужакрытых теплиц пятого поколения / А. И. Чайковский [и др.] // Овощеводство : сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т овощеводства. – Минск, 2021. – Т. 29. – С. 242–249.
5. Бондарев, Н. С. Цифровое управление тепличным овощеводством / Н. С. Бондарев, Г. С. Бондарева // Инновационная деятельность. – 2020. – № 2 (53). – С. 26–33.
6. Долговых, Д. Н. «Умное» растениеводство / Д. Н. Долговых, Д. В. Ерёмкина // Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения: сб. материалов LV Студенческой науч.-практ. конф. – 2021. – С. 432–437.
7. Обухов, П. С. О необходимости разработки системы автоматизированного контроля параметров smart-теплицы на сегодняшний день / П. С. Обухов, В. В. Демченко // European Journal of Natural History. – 2021. – № 2. – С. 83–87.
8. Прокофьев, О. В. Автоматизация работы теплицы с использованием технологии internet of things / О. В. Прокофьев, М. Б. Хоммадова, Р. А. Абдуллаев // Неделя науки СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием / С.-Петербург. политех. ун-т Петра Великого. – 2019. – С. 53–56.
9. Цифровое сельское хозяйство: состояние и перспективы развития / В. Ф. Федоренко [и др.]. – М. : ФГБНУ «Росинформагротех». – 2019. – 316 с.
10. Терехов, В. Г. «Виртуальный агроном» – передовые IT технологии идут на помощь тепличным комплексам / В. Г. Терехов, В. Г. Король // Теплицы России : журн. для специалистов защищенного грунта. Республиканская производственно-научная ассоциация «Теплицы России». – 2022. – № 1. – С. 22–25.
11. Хапчаев, А. А. Вертикальные фермы / А. А. Хапчаев // Современные информационные технологии в образовании, науке и промышленности: XII Междунар. конф. и X Междунар. конкурс научных и науч.-метод. работ : сб. тр. / отв. ред. и сост. Т. В. Пирязева, В. В. Серов. – М. : Изд-во «Спутник+», 2019. – С. 65–67.
12. Прудцких, Н. В. Вертикальные теплицы: переход к концепции модульности / Н. В. Прудцких // Автоматизация, мехатроника, информационные технологии : материалы VIII Междунар. науч.-техн. интернет-конференции молодых ученых / отв. ред. В. Г. Хомченко. – 2018. – С. 32–35.

13. Концепция роботизированного тепличного комплекса для выращивания томатов с одним оператором / А. В. Рыбаков [и др.] // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2021. – № 1 (53). – С. 116–126.

14. Роганова, Э. В. К задаче создания роботизированных комплексов «умная теплица» / Э. В. Роганова, К. А. Епифанова, Н. В. Есимова // Цифровизация агропромышленного комплекса : сб. науч. ст. – 2018. – Т. 1. – С. 293–296.

15. Концептуальные основы управления «умными» теплицами / С. А. Шелковников [и др.] // Экономика и предпринимательство. – 2019. – № 1 (102). – С. 720–723.

16. Бичурин, С. В. Модульные системы автоматизации для малых теплиц / С. В. Бичурин // XXIII Туполевские чтения (школа молодых ученых). Междунар. молодежная науч. конф.: материалы конференции. Сб. докл.: в 4-х т. – 2017. – Т. 3. – С. 644–646.

17. Журавлева, Л. А. «Сити-фермерство» как перспективное направление развития агропроизводства / Л. А. Журавлева ; М-во науки и высш. образования Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. образования «Московский политехнических университет». – М. : РУСАЙНС, 2023. – 159 с.

*Поступила в редакцию 16 ноября 2022 г.*

**A. I. Chaykovskiy**

### **«DIGITAL GREENHOUSE»: CORE TECHNOLOGIES TO INCREASE VEGETABLE GROWING EFFICIENCY UNDER CONTROLLED CONDITIONS**

#### **SUMMARY**

*The crucial technologies used in «digital greenhouses» have been studied. Theoretical and practical data on the peculiarities of the high technologies use in the cultivation of vegetable products under controlled conditions are summarized.*

*Key words:* «digital greenhouse»; «smart greenhouse»; vertical greenhouse; robotization; multilayered narrow-shelf hydroponics; multilayered plant mounting; LED lights.