

УДК 681.5

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

АВТОМАТИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ В ТЕПЛИЧНЫХ КОМПЛЕКСАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Мухаметгалеев Танир Хамитевич
Канд. техн. Наук, доцент
Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Пуранен Сергей Владимирович
Студент
Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

В статье представлен обзор современных цифровых технологий, применяемых для автоматизации мониторинга и управления микроклиматом в тепличных комплексах. Обоснована актуальность использования автоматизированных систем в защищенном грунте для повышения эффективности сельскохозяйственного производства, поскольку поддержание оптимальных условий в теплице является сложной и ресурсоёмкой задачей. Приведены сведения о ключевых параметрах микроклимата и современных средствах их контроля. Цель исследования состояла в анализе существующих решений в области «умных» теплиц и оценке их влияния на продуктивность и ресурсосбережение. В качестве материалов использованы данные научных публикаций и реализованных проектов автоматизации тепличного микроклимата; применены методы аналитического обзора и сравнительного анализа. Основные результаты показывают, что внедрение технологий Интернета вещей, сетей датчиков, интеллектуальных алгоритмов управления и облачных сервисов позволяет поддерживать оптимальные условия выращивания культур, повышая урожайность и качество продукции. Автоматизация микроклимата сокращает затраты энергии и труда, а также обеспечивает оперативный контроль через дистанционный мониторинг. Выявлены ключевые преимущества применения таких систем (точное поддержание параметров, экономия ресурсов, снижение риска потерь урожая) и обозначены перспективы дальнейшего развития технологий (интеграция искусственного интеллекта, использование цифровых двойников теплиц и пр.). Практический опыт внедрения подобных решений демонстрирует существенный рост урожайности и снижение эксплуатационных затрат. Сделан вывод, что цифровизация тепличных комплексов является

UDC 681.5

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex

AUTOMATION OF MICROCLIMATE MONITORING AND CONTROL IN GREENHOUSE COMPLEXES USING DIGITAL TECHNOLOGIES

Mukhametgaleev Tanir Khamitovich
Cand. Tech. Sci., Associate Professor
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Puranen Sergey Vladimirovich
Student
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

The article presents a review of modern digital technologies applied to the automation of monitoring and control of the microclimate in greenhouse complexes. The relevance of using automated systems in protected cultivation for improving the efficiency of agricultural production is substantiated, since maintaining optimal conditions in a greenhouse is a complex and resource-intensive task. Information is provided on the key microclimate parameters and the modern means of their control. The purpose of the study was to analyze existing solutions in the field of “smart” greenhouses and to assess their impact on productivity and resource efficiency. The materials used include data from scientific publications and implemented projects on greenhouse microclimate automation; methods of analytical review and comparative analysis were applied. The main results show that the introduction of Internet of Things technologies, sensor networks, intelligent control algorithms, and cloud services makes it possible to maintain optimal growing conditions, thereby increasing crop yield and quality. Microclimate automation reduces energy and labor costs while ensuring operational control through remote monitoring. The key advantages of such systems were identified, including precise parameter maintenance, resource savings, and reduced risk of crop losses, while prospects for further technology development were outlined, such as the integration of artificial intelligence and the use of digital twins of greenhouses. Practical experience in the implementation of these solutions demonstrates a significant increase in yields and a reduction in operating costs. It is concluded that the digitalization of greenhouse complexes is a promising direction for the sustainable development of the agro-industrial sector

перспективным направлением для устойчивого развития агропромышленного комплекса

Ключевые слова: АВТОМАТИЗАЦИЯ, МИКРОКЛИМАТ, ТЕПЛИЧНЫЕ КОМПЛЕКСЫ, ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, МОНИТОРИНГ, ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ

Keywords: AUTOMATION, MICROCLIMATE, GREENHOUSE COMPLEXES, DIGITAL TECHNOLOGIES, MONITORING, INTERNET OF THINGS

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-212-023>

Введение. Современное агропромышленное производство активно использует теплицы для круглогодичного выращивания овощей, зелени и других культур. По мировым оценкам, суммарная площадь тепличных хозяйств превышает 3 млн. гектаров и продолжает расти. Тепличные комплексы создают благоприятные условия для роста растений независимо от внешних климатических факторов, что особенно важно для обеспечения продовольственной безопасности в условиях изменчивого климата. Однако эффективное выращивание в закрытом грунте требует поддержания оптимального микроклимата – определенного диапазона температуры, влажности, освещенности, концентрации CO₂ и других параметров. Отклонение этих параметров от нормы может привести к замедлению роста растений, распространению болезней и снижению урожайности.

Традиционно контроль микроклимата в теплицах осуществлялся вручную или с использованием простых термостатов и таймеров. Такой подход не обеспечивает достаточной точности и скорости реагирования на изменения условий. Человеческий фактор и отсутствие постоянного мониторинга часто приводят к нерациональному расходу ресурсов – например, перерасходу тепла или воды. Учитывая, что на обогрев, охлаждение и вентиляцию теплиц приходится значительная часть энергозатрат хозяйства, оптимизация микроклимата имеет не только агротехническое, но и экономическое значение. Особенно сложно поддерживать стабильный климат во всех зонах крупного тепличного комплекса без единой автоматизированной системы управления [1].

<http://ej.kubagro.ru/2025/08/pdf/23.pdf>

В последние годы в рамках концепции «Цифровое сельское хозяйство» (Agriculture 4.0) активно развиваются технологии автоматизации тепличного производства. На сегодняшний день создано множество специализированных решений – так называемых климатических компьютеров, которые автоматически управляют системами отопления, вентиляции, увлажнения и освещения теплицы. Появление доступных электронных датчиков, интеллектуальных контроллеров, беспроводных сетей передачи данных и программных средств контроля позволило создать системы, способные круглосуточно отслеживать состояние микроклимата и автоматически регулировать работу оборудования. Такие цифровые технологии (например, системы на основе Интернета вещей) находят все более широкое применение в отечественных и зарубежных тепличных комплексах. Практика показывает, что автоматизация микроклимата позволяет существенно повысить продуктивность и экономичность производства. Таким образом, разработка и внедрение систем автоматического мониторинга и управления микроклиматом в теплицах является актуальной задачей, направленной на повышение устойчивости и эффективности агропромышленных предприятий.

Состояние исследований и актуальность проблемы. В настоящее время ведутся интенсивные исследования и разработки в области автоматизации микроклимата теплиц. Существует широкий спектр технических решений – от промышленных автоматизированных комплексов до любительских систем на основе микроконтроллеров и платформ «умного дома». Практика внедрения климатических систем управления в теплицах показывает их высокую эффективность: оптимизируется потребление энергии и ресурсов, повышается урожайность и улучшается качество продукции. Технологии Интернета вещей обеспечивают создание сетей беспроводных датчиков и

коммуникационных модулей, что позволяет осуществлять непрерывный мониторинг параметров микроклимата и своевременно регулировать условия, экономно расходуя ресурсы и увеличивая объем производимой продукции.

Актуальность проблемы управления микроклиматом обусловлена как агротехническими, так и экономическими факторами. Современные тепличные комплексы отличаются высокой энергоёмкостью, значительная доля затрат приходится на отопление, охлаждение и вентиляцию. Автоматизированные системы позволяют поддерживать параметры на заданном уровне, предотвращая перерасход энергии и тепла. Стабильный микроклимат снижает стресс у растений, способствует их равномерному росту и обеспечивает высокую урожайность, что напрямую отражается на рентабельности хозяйства. Цифровой мониторинг позволяет оперативно выявлять отклонения, такие как падение температуры или сбой оборудования, и принимать меры для предотвращения потерь урожая. Кроме того, автоматизация сокращает потребность в ручном труде и минимизирует ошибки, связанные с человеческим фактором. Экономический эффект от внедрения подобных систем выражается в повышении выхода продукции и сокращении затрат, что обеспечивает быструю окупаемость инвестиций.

Современная автоматизированная система микроклимата, как правило, включает несколько ключевых компонентов. К ним относятся датчики среды, фиксирующие температуру воздуха и почвы, влажность, концентрацию углекислого газа, освещенность и другие параметры. Управление осуществляется через контроллер, который получает данные с датчиков и реализует алгоритмы регулирования. Исполнительные механизмы — отопительные установки, насосы, вентиляторы, системы увлажнения, капельного полива и досветки — приводятся в действие сигналами контроллера. Для обмена информацией используются

проводные интерфейсы и беспроводные сети, а диспетчеризация осуществляется посредством специализированного программного обеспечения и облачных сервисов, обеспечивающих удалённый контроль и управление с мобильных устройств.

Разработка алгоритмов управления микроклиматом является одним из наиболее динамично развивающихся направлений исследований. Если ранее применялись преимущественно классические ПИД-регуляторы, то сегодня активно внедряются методы нечеткой логики, позволяющие учитывать нелинейные взаимосвязи и регулировать несколько параметров одновременно. Перспективным направлением стало использование искусственного интеллекта, в частности нейронных сетей, способных прогнозировать изменения микроклимата и адаптировать работу оборудования. Такие интеллектуальные алгоритмы обучаются на накопленных данных и находят оптимальные стратегии регулирования. Параллельно ведется разработка математических моделей теплиц, имитирующих процессы тепло- и массообмена, рост растений и расход ресурсов. На основе этих моделей создаются цифровые двойники тепличных комплексов, которые позволяют проводить виртуальное тестирование сценариев управления и повышать точность регулирования.

Совокупность современных достижений подтверждает высокий интерес научного и практического сообщества к проблеме автоматизации тепличных комплексов и указывает на значительный потенциал дальнейшего совершенствования технологий.

Цель исследований. Целью работы является обзор современных методов и средств автоматизации мониторинга и управления микроклиматом тепличных комплексов с использованием цифровых технологий.

Материалы и методы исследований. В качестве материалов исследования использованы публикации отечественных и зарубежных

авторов, посвященные автоматизации тепличного микроклимата, а также описания внедренных систем мониторинга и управления. Информационной базой послужили статьи в научных журналах и сборниках конференций за последние годы, отражающие актуальные достижения в данной области. Всего проанализировано около 20 научных источников, опубликованных в 2015–2025 гг. Поиск литературы осуществлялся через электронные библиотеки и базы данных (CyberLeninka, eLibrary, ScienceDirect и др.), что обеспечило широкий охват актуальных источников. При проведении обзора применены методы сравнительного анализа и систематизации: различные системы автоматизации (промышленные и на базе IoT) сопоставлялись по функциональным возможностям, требуемым ресурсам и достигаемым результатам. Также проведен анализ технических характеристик используемых датчиков и контроллеров, архитектуры систем связи и алгоритмов управления, описанных в литературе. Особое внимание уделялось информации об эффектах внедрения цифровых систем – влиянии на урожайность, экономию энергии и воды, повышение надежности поддержания условий выращивания. Такой подход позволил объективно оценить текущее состояние технологий и выявить наиболее перспективные направления развития.

Результаты исследований. Результаты анализа показывают, что внедрение цифровых систем климат-контроля в тепличных комплексах оказывает комплексное положительное воздействие на процессы выращивания культур и организацию производственной деятельности. Прежде всего, такие системы обеспечивают поддержание оптимальных параметров микроклимата — температуры, влажности, концентрации углекислого газа и освещённости. Это создает стабильные условия для роста растений, минимизирует стрессовые факторы и способствует формированию более высокой урожайности, а также улучшению

качественных характеристик продукции, включая вкусовые свойства и внешний вид.

Немаловажным преимуществом является экономия ресурсов. За счёт точного регулирования работы отопительных установок, систем вентиляции, досветки и полива достигается снижение энергозатрат, расхода тепла и воды. Такой подход обеспечивает рациональное использование ресурсов и способствует уменьшению себестоимости продукции. В условиях роста тарифов на энергоносители данный фактор становится одним из ключевых для повышения рентабельности тепличных хозяйств.

Цифровизация также значительно повышает уровень оперативности управления. Онлайн-мониторинг параметров микроклимата в реальном времени, доступный через компьютер или мобильные устройства, позволяет агроспециалистам и обслуживающему персоналу своевременно выявлять отклонения и быстро реагировать на них. Это не только повышает точность управления, но и сокращает время на устранение возможных неполадок, минимизируя риск потерь.

Отдельное значение имеет снижение рисков, связанных с непредвиденными обстоятельствами. Встроенные системы аварийных оповещений в виде SMS, push-уведомлений или сигналов через специализированные приложения позволяют заранее информировать персонал о перегреве, отказе оборудования, резком изменении температуры или влажности. Такой механизм предупреждения позволяет предотвратить гибель растений и снизить экономические убытки.

Накопление и анализ данных о микроклимате представляет ещё одну важную возможность. Системы цифрового контроля формируют архивы температурных режимов, влажности, уровня освещённости и других параметров, что делает возможным проведение ретроспективного анализа, выявление закономерностей и оптимизацию агротехнологических

стратегий. В перспективе использование технологий больших данных и машинного обучения позволит формировать адаптивные модели управления, повышающие эффективность эксплуатации тепличных комплексов.

Не менее значимым результатом внедрения автоматизации является сокращение трудозатрат. Автоматическое регулирование процессов микроклимата снижает необходимость в постоянном присутствии персонала и ручном вмешательстве, что позволяет оптимизировать организацию труда, сократить расходы на оплату рабочей силы и снизить вероятность ошибок, вызванных человеческим фактором.

Таким образом, применение цифровых технологий в управлении микроклиматом теплиц обеспечивает не только технологические и агрономические преимущества, но и способствует росту экономической устойчивости агропромышленных предприятий.

Выводы. Автоматизация микроклимата теплиц с применением цифровых технологий доказала свою эффективность. Она обеспечивает увеличение урожайности и улучшение качества сельхозпродукции при одновременном снижении энергозатрат и трудовых издержек. Использование современных систем климат-контроля способствует стабильности производства и позволяет снизить риски, связанные с неблагоприятными факторами среды.

Библиографический список

1. Численное моделирование нагрева теплового накопителя энергии для обогрева тепличного хозяйства / А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров, М. О. Уткин [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2025. – Т. 20, № 1(77). – С. 47-53. – DOI 10.12737/2073-0462-2025-1-47-53.

References

1. Numerical Modeling of Thermal Energy Storage Heating for Greenhouse Farming / A. V. Dmitriev, V. E. Zinurov, M. O. Utkin [et al.] // Bulletin of Kazan State Agrarian University. – 2025. – Vol. 20, No. 1(77). – P. 47–53. – DOI 10.12737/2073-0462-2025-1-47-53.