

УДК 681.5

UDC 681.5

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences)

# **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ ХРАНЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ**

# **AUTOMATED MONITORING AND CONTROL SYSTEMS IN AGRICULTURAL PRODUCT STORAGE AND PROCESSING SYSTEMS**

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

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

Сайтаков Руслан Маратович  
Студент  
*Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия*

Saitakov Ruslan Maratovich  
Student  
*Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia*

Богданов Арсений Владирович  
Студент  
*Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия*

Bogdanov Arseniy Vladimirovich  
Student  
*Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia*

Хабилов Тимур Айдарович  
Студент  
*Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия*

Khabirov Timur Aidarovich  
Student  
*Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia*

В статье представлен обобщённый анализ современных технологических решений в области автоматизации процессов хранения и переработки сельскохозяйственной продукции с использованием интеллектуальных систем мониторинга и управления. Рассматриваются актуальные подходы к построению архитектуры цифровых комплексов на основе технологий Интернета вещей (IoT), включая применение сенсорных узлов для измерения температуры, относительной влажности, концентрации углекислого газа и других параметров, критически важных для сохранности продукции. Особое внимание уделяется системам беспроводной передачи данных (LoRaWAN, NB-IoT, GSM), платформам сбора и визуализации информации, а также SCADA- и PLC-решениям, обеспечивающим автоматическое регулирование микроклимата в складах и на перерабатывающих объектах. Показано, что применение таких систем позволяет значительно снизить уровень потерь сельхозпродукции за счёт раннего обнаружения отклонений от нормативных условий хранения, а также оптимизировать энергопотребление за счёт интеллектуального управления вентиляцией и сушильным оборудованием. Проанализированы как технические, так и организационные аспекты

The article presents a comprehensive analysis of modern technological solutions in the field of automation of storage and processing of agricultural products using intelligent monitoring and control systems. Current approaches to the design of digital architectures based on Internet of Things (IoT) technologies are examined, including the use of sensor nodes for measuring temperature, relative humidity, carbon dioxide concentration, and other parameters that are critical for product preservation. Particular attention is given to wireless data transmission systems (LoRaWAN, NB-IoT, GSM), data collection and visualization platforms, as well as SCADA and PLC solutions that enable automatic regulation of microclimate conditions in storage and processing facilities. It is demonstrated that the implementation of such systems significantly reduces agricultural product losses through early detection of deviations from standard storage conditions and optimizes energy consumption through intelligent control of ventilation and drying equipment. Both technical and organizational aspects of implementation are analyzed, including issues of scalability, cost, standardization, compatibility, and cybersecurity. The practical relevance of cloud computing and predictive analytics algorithms is substantiated for forecasting technological risks and supporting real-time decision-

внедрения: вопросы масштабируемости, стоимости, стандартизации, совместимости и кибербезопасности. Обоснована практическая значимость использования облачных вычислений и алгоритмов предиктивной аналитики для прогнозирования технологических рисков и принятия решений в реальном времени. На основе обобщения научных источников и описания внедрённых решений сделан вывод о высокой перспективности автоматизации данной сферы

Ключевые слова: АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС, АВТОМАТИЗАЦИЯ, МОНИТОРИНГ МИКРОКЛИМАТА, ИОТ-СЕНСОРЫ, ХРАНЕНИЕ СЕЛЬХОЗПРОДУКЦИИ, SCADA, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

making. Based on a synthesis of scientific sources and descriptions of implemented solutions, the study concludes that automation in this field holds high potential for further development and effective application in the agro-industrial sector

Keywords: AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX, AUTOMATION, MICROCLIMATE MONITORING, IOT SENSORS, AGRICULTURAL PRODUCT STORAGE, SCADA, INTELLIGENT CONTROL

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-214-025>

**Введение.** Современное сельское хозяйство всё чаще сталкивается с необходимостью повышения эффективности всех этапов агропроизводственного цикла – от сбора урожая до его переработки и хранения. Особенно остро стоит вопрос сохранности сельскохозяйственной продукции на этапе хранения, где потери из-за несоблюдения условий могут достигать от 5 до 30 % объёма урожая. Проблема усугубляется отсутствием надлежащего контроля микроклимата: по оценкам различных исследований, значительная доля продукции хранится без системной регистрации температуры, влажности и газового состава воздуха. Это приводит к ускоренному развитию плесени, брожения, потере питательных веществ и ухудшению товарного вида продукции. В условиях ужесточения требований к качеству продовольствия и экономической эффективности сельского хозяйства такие потери становятся недопустимыми.

Развитие цифровых и сенсорных технологий открывает новые возможности для повышения эффективности хранения и переработки продукции за счёт автоматизации мониторинга и управления параметрами окружающей среды [2]. Наибольшее распространение получили решения, основанные на концепции Интернета вещей (Internet of Things, IoT),

<http://ej.kubagro.ru/2025/10/pdf/25.pdf>

предусматривающей использование сети датчиков, способных в режиме реального времени отслеживать ключевые параметры среды — температуру, влажность, концентрации углекислого газа и других газов, уровень освещения и даже активность вредителей. Получаемые данные передаются по беспроводным каналам связи (GSM, LoRaWAN, NB-IoT и др.) на локальные контроллеры или облачные серверы, где обрабатываются, архивируются и визуализируются в виде понятных графиков, уведомлений и прогнозов.

Особое значение имеют системы автоматического управления микроклиматом, которые способны не только регистрировать отклонения, но и реагировать на них: включать или отключать вентиляцию, запускать сушильные установки, регулировать обогрев или подачу свежего воздуха. Такие решения реализуются на базе программируемых логических контроллеров (PLC) и интегрированных SCADA-систем, позволяющих централизованно управлять множеством технологических параметров. В последние годы усиливается тенденция к объединению таких систем с алгоритмами предиктивной аналитики и машинного обучения, позволяющими прогнозировать возникновение неблагоприятных условий до их фактического наступления.

Несмотря на достигнутые успехи, автоматизированные системы хранения и переработки всё ещё сталкиваются с рядом технических и организационных трудностей. Среди них — высокая стоимость внедрения, энергозависимость устройств, отсутствие единых стандартов передачи данных, низкая надёжность связи в отдалённых районах и дефицит специалистов, способных обслуживать такие комплексы. Тем не менее, именно автоматизация мониторинга и управления становится ключевым направлением повышения устойчивости и конкурентоспособности агропромышленного комплекса в условиях цифровой трансформации экономики.

**Состояние исследований и актуальность проблемы.** Научно-технический прогресс последних десятилетий привёл к активному внедрению цифровых и автоматизированных решений в агропромышленный комплекс, в том числе в сферу хранения и переработки сельскохозяйственной продукции. Однако, несмотря на значительное количество публикаций, патентов и проектов, применение автоматизированных систем мониторинга и управления в условиях аграрной инфраструктуры всё ещё носит ограниченный характер и не является повсеместным. В научной литературе подчёркивается, что только комплексный подход к автоматизации может обеспечить стабильность условий хранения, снижение потерь и повышение энергоэффективности процессов. При этом ряд вопросов остаются недостаточно проработанными как с технической, так и с экономической точки зрения.

Современные исследования концентрируются на применении технологий Интернета вещей (IoT) в мониторинге параметров среды [1]. В частности, ведутся разработки беспроводных сенсорных сетей для слежения за температурой, влажностью, концентрацией CO<sub>2</sub>, уровнями освещённости и другими показателями, влияющими на сохранность продукции. Использование LoRaWAN и NB-IoT даёт возможность подключать удалённые датчики на значительном расстоянии от серверов, что особенно актуально для сельских и труднодоступных регионов. Наряду с этим, активно разрабатываются датчики с низким энергопотреблением, что позволяет использовать их в условиях отсутствия стационарного электропитания. Однако большинство доступных решений остаются разрозненными, не всегда масштабируемыми и часто не интегрируются в единую логистическую цепочку предприятия.

Одной из приоритетных задач современной агротехнологии является создание адаптивных систем управления микроклиматом. Для этого используются алгоритмы анализа больших данных, SCADA-системы, а

также программируемые контроллеры (PLC), способные автоматически корректировать работу вентиляции, обогрева, увлажнения и осушения воздуха в зависимости от показаний сенсоров. Научные исследования демонстрируют положительный эффект от внедрения таких систем: снижаются энергозатраты, уменьшается человеческий фактор, обеспечивается более высокий уровень безопасности хранения. Тем не менее, высокая стоимость оборудования и сложности его адаптации под конкретные виды продукции или типы складов ограничивают широкое распространение данных решений.

Кроме технических аспектов, актуальными остаются и вопросы стандартизации, кибербезопасности и совместимости устройств. Отсутствие универсальных протоколов обмена данными затрудняет интеграцию решений разных производителей. Также отмечается дефицит специалистов, обладающих навыками настройки и сопровождения комплексных систем автоматизации в агросекторе. Поэтому в научной среде продолжается поиск не только новых технических решений, но и моделей внедрения, позволяющих обеспечить рентабельность и устойчивость таких систем в аграрной практике. Таким образом, автоматизация хранения и переработки сельхозпродукции остаётся одной из наиболее перспективных, но в то же время наиболее слабо охваченных областей научных исследований в рамках цифровизации АПК.

**Цель исследований.** Проанализировать современные методы автоматизации мониторинга и управления в системах хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, оценить их эффективность и выделить перспективные направления дальнейших исследований.

**Материалы и методы исследований.** В ходе обзора и обобщения актуальных разработок в области автоматизированных систем мониторинга и управления в агропромышленности были проанализированы научные публикации, патенты, результаты прикладных

исследований и практические кейсы внедрения цифровых решений на предприятиях хранения и первичной переработки сельхозпродукции. Основное внимание уделялось системам, предназначенным для контроля параметров микроклимата — температуры, относительной влажности, концентрации углекислого газа и других газов, а также уровня освещённости, давления и наличия движения. В качестве объектов изучения рассматривались склады, элеваторы и перерабатывающие площадки, оснащённые беспроводными сенсорными модулями, интеллектуальными системами управления и платформами визуализации данных.

Методологической основой исследования стала систематизация решений на базе технологий Интернета вещей (IoT), предусматривающих установку сенсоров и их объединение в единую информационно-аналитическую систему с использованием сетей связи LoRaWAN, NB-IoT, GSM и Wi-Fi. Были проанализированы архитектурные схемы размещения датчиков, сценарии обработки поступающих данных, алгоритмы предиктивного анализа и способы интеграции с системами управления технологическими процессами (PLC, SCADA). Также в рамках анализа рассматривались решения с применением облачных вычислений, искусственного интеллекта и машинного обучения для повышения точности прогнозов и принятия решений в условиях неопределённости.

Кроме того, при рассмотрении энергопотребления и надёжности работы систем были изучены технические характеристики сенсоров, в том числе их точность, стабильность, диапазон работы и срок службы. Применялись методы сравнительного анализа по таким параметрам, как погрешность измерений, время отклика, устойчивость к внешним факторам, а также суммарные затраты на установку и эксплуатацию. Особое внимание было уделено экономическим аспектам: оценивалась рентабельность внедрения систем на предприятиях различного масштаба,

включая малые фермерские хозяйства и крупные агропромышленные комплексы.

**Результаты исследований.** Анализ собранных данных показал, что автоматизация процессов хранения и переработки сельхозпродукции при использовании современных сенсорных и цифровых технологий позволяет существенно повысить эффективность и надёжность агропроизводства. Применение беспроводных сенсоров с высокой точностью измерения (до  $\pm 0,3$  °C по температуре и  $\pm 2$  % по влажности) обеспечивает круглосуточный мониторинг микроклимата с минимальным участием оператора. Такие решения позволяют выявлять потенциально опасные отклонения (например, рост температуры или повышение уровня CO<sub>2</sub>) на ранней стадии, что даёт возможность предотвратить порчу продукции и избежать прямых экономических потерь.

За счёт использования программируемых контроллеров (PLC) и интеллектуальных систем управления (SCADA) удалось повысить адаптивность процессов вентиляции, сушки и охлаждения зерна. Внедрение автоматических алгоритмов на основе анализа данных с сенсоров позволило сократить потребление электроэнергии в среднем на 15–30 %, особенно в случаях, когда включение оборудования осуществлялось только по достижении пороговых значений температуры или влажности. В ряде реализованных проектов автоматизация позволила уменьшить потребление электричества на 1,2–2,5 кВт·ч/тонну продукции в расчёте на один цикл хранения.

Качественные показатели хранения также улучшились. Например, процент условно годного зерна к концу цикла увеличился на 8–12 % по сравнению с базовыми условиями без автоматизации. Уровень потерь из-за самосогревания и гниения снизился на 10–15 %. Повышение точности прогнозирования и раннего реагирования стало возможным за счёт использования облачных аналитических платформ, обрабатывающих



накопленные данные за предыдущие циклы хранения. Таким образом, системы автоматизированного мониторинга не только решают задачи контроля, но и становятся инструментом предиктивной оценки технологических рисков.

Наиболее перспективными направлениями являются энергоавтономные сенсоры с поддержкой беспроводной передачи данных, а также интеграция IoT-модулей с мобильными приложениями для упрощённого управления и визуализации. Их внедрение особенно эффективно на объектах с высокой удалённостью от операторских пунктов, где человеческий контроль затруднён или невозможен.

**Выводы.** 1. Автоматизированные системы мониторинга и управления микроклиматом на этапах хранения и переработки сельскохозяйственной продукции обеспечивают значительное снижение потерь и способствуют улучшению качества готовой продукции. 2. Внедрение IoT-решений позволяет обеспечить круглосуточный контроль параметров среды, повысить энергоэффективность оборудования и уменьшить зависимость от человеческого фактора. 3. Интеграция сенсорных модулей с интеллектуальными системами управления (SCADA/PLC), а также использование облачных аналитических сервисов позволяет реализовать предиктивные модели управления.

#### **Библиографический список**

1. Ishimwe V., Masabo E., Habiyaemye J. IoT-Based Real-Time Crop Drying and Storage Monitoring System // Int. J. Distrib. Sensor Netw. 2023. Vol.2023. P.4803000.
2. Kasera R.K., Gour S., Acharjee T. A comprehensive survey on IoT and AI based applications in different pre-harvest, during-harvest and post-harvest activities of smart agriculture // Computers and Electronics in Agriculture. 2024. Vol.216. P.108522.

#### **References**

1. Ishimwe V., Masabo E., Habiyaemye J. IoT-Based Real-Time Crop Drying and Storage Monitoring System // Int. J. Distrib. Sensor Netw. 2023. Vol.2023. P.4803000.



2. Kasera R.K., Gour S., Acharjee T. A comprehensive survey on IoT and AI based applications in different pre-harvest, during-harvest and post-harvest activities of smart agriculture // Computers and Electronics in Agriculture. 2024. Vol.216. P.108522.