

УДК 631.153

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

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЦИКЛА В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

Сафин Марат Абдулбариевич
Канд. техн. наук, доцент
Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Милицкая Варвара Михайловна
Студент
Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

В статье представлен обзор современных цифровых технологий и решений на основе искусственного интеллекта (ИИ), применяемых для мониторинга производственного цикла в растениеводстве. Рассматриваются ключевые направления цифровизации агропромышленного комплекса – внедрение Интернета вещей (IoT), беспроводных сенсорных сетей, беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), спутникового зондирования и алгоритмов машинного обучения. Эти технологии позволяют получать детализированные данные о состоянии посевов, влажности почвы, микроклимате и обеспечивать точное управление ресурсами. Показано, что использование цифровых систем и ИИ способствует росту урожайности на 20-30 %, снижению расхода воды и удобрений на 40-60 %, повышению точности прогнозирования урожайности до 90-95 %. Особое внимание уделено интеграции периферийного ИИ (edge AI), обеспечивающего обработку данных непосредственно на ферме, что повышает надёжность и снижает сетевые задержки. Отмечены барьеры внедрения – высокая стоимость оборудования, ограниченная цифровая инфраструктура и дефицит компетенций у сельхозпроизводителей. Сделан вывод, что сочетание IoT и ИИ является ключевым фактором перехода к устойчивому, ресурсосберегающему и высокотехнологичному сельскому хозяйству будущего. Показано, что основными ограничениями являются высокие капитальные затраты, слабая инфраструктура связи в сельских районах, отсутствие стандартов данных и недостаточный уровень цифровой грамотности фермеров

Ключевые слова: ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ, ЦИФРОВОЕ СЕЛЬСКОЕ

UDC 631.153

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

DIGITAL TECHNOLOGIES AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE SYSTEM OF MONITORING THE PRODUCTION CYCLE IN CROP PRODUCTION

Safin Marat Abdulbarievich
Cand.Tech.Sci., associate professor
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Militskaya Varvara Mikhailovna
Student
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

The article presents an overview of modern digital technologies and artificial intelligence (AI)-based solutions applied to monitoring the production cycle in crop production. The key directions of digitalization in the agro-industrial complex are discussed, including the implementation of the Internet of Things (IoT), wireless sensor networks, unmanned aerial vehicles (UAVs), satellite remote sensing, and machine learning algorithms. These technologies enable the collection of detailed data on crop conditions, soil moisture, and microclimate, ensuring precise resource management. It is shown that the use of digital systems and AI contributes to a 20–30% increase in crop yields, a 40–60% reduction in water and fertilizer consumption, and an improvement in yield prediction accuracy up to 90–95%. Special attention is given to the integration of edge AI, which enables data processing directly on the farm, enhancing system reliability and reducing network latency. The main barriers to implementation are identified as high equipment costs, limited digital infrastructure, and insufficient digital competence among farmers. The study concludes that the combination of IoT and AI represents a key driver for the transition toward sustainable, resource-efficient, and high-tech agriculture of the future. It is emphasized that the main limitations include high capital expenditures, weak communication infrastructure in rural areas, lack of data standards, and low levels of digital literacy among agricultural producers

Keywords: ARTIFICIAL INTELLIGENCE, DIGITAL AGRICULTURE, PRECISION

ХОЗЯЙСТВО, ТОЧНОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ,
МОНИТОРИНГ ПОСЕВОВ, IOT,
БЕСПИЛОТНИКИ, СЕНСОРНЫЕ СЕТИ

FARMING, CROP MONITORING, IOT, UAVS,
SENSOR NETWORKS

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-215-029>

Введение. Глобальное сельское хозяйство переживает беспрецедентное давление, связанное с ростом населения, изменением климата и деградацией земель. По прогнозам, к 2050 году численность населения Земли может достигнуть 9,7 млрд человек, что потребует увеличения производства продовольствия примерно на 70 %. Одновременно наблюдаются повышенная частота экстремальных погодных явлений и ухудшение плодородия почв – около 33 % земель уже деградировало.

Традиционные методы растениеводства, основанные на ручном опыте, приводят к неэффективному использованию ресурсов и часто сопровождаются значительными экологическими потерями.

В ответ на эти вызовы агропромышленный комплекс активно внедряет цифровые технологии. Интернет-вещей и сенсорные сети обеспечивают сбор высокочастотных данных о влажности почвы, составе питательных веществ, микроклимате и росте растений. Беспилотники и спутники предоставляют спектральную информацию, позволяющую оценивать здоровье растений и выявлять очаги стрессов на ранних стадиях. Искусственный интеллект, включая методы машинного обучения и глубоких нейронных сетей, анализирует эти данные и формирует рекомендации по оптимизации посева, полива, внесения удобрений и защиты растений.

Совместное использование IoT и ИИ формирует основу точного земледелия, позволяя применять ресурсы строго там, где это необходимо, снижая затраты и экологические риски. Систематический обзор, выполненный международной группой исследователей, показал, что

<http://ej.kubagro.ru/2026/01/pdf/29.pdf>

применение оптических, акустических, электромагнитных и почвенных датчиков в сочетании с алгоритмами поддержки принятия решений (SVM, CNN, случайный лес) обеспечивает оптимизацию полива, удобрения и борьбы с вредителями. Другие работы демонстрируют, что технологии точного земледелия увеличивают урожайность на 20-30 %, уменьшают отходы на 40-60 % и сокращают потребление воды на 40-60 %. Также сообщается о повышении точности прогнозирования урожайности на 20 % и снижении расхода удобрений до 40 % благодаря использованию БПЛА, IoT-датчиков и ИИ.

Таким образом, цифровизация агросектора становится стратегическим направлением развития мирового сельского хозяйства. Внедрение технологий искусственного интеллекта и цифровых систем мониторинга не только повышает производительность и экономическую устойчивость растениеводства, но и способствует переходу к экологически сбалансированному и ресурсосберегающему производству, отвечающему требованиям концепции «умного сельского хозяйства» (Smart Farming).

Состояние исследований и актуальность проблемы. С начала 2010-х годов наблюдается стремительный рост исследований, посвящённых применению цифровых технологий в сельском хозяйстве. По данным систематического обзора, количество публикаций по IoT и ИИ в растениеводстве быстро увеличивается, а основные направления включают разработку датчиков для мониторинга почвы, климата и биомассы, а также алгоритмы машинного обучения для прогнозирования урожайности и управления ресурсами. В публикациях отмечается, что наиболее распространённые методы – это оптические и акустические сенсоры, беспроводные сенсорные сети, беспилотники и спутниковая съёмка, в сочетании с алгоритмами SVM, CNN и случайных лесов. В то же время подчёркиваются высокие инфраструктурные затраты, сложность

обеспечения межоперабельности между разными системами и дефицит цифровых навыков у фермеров.

В работе [1] отмечается, что точное земледелие, использующее GPS-навигаторы, БПЛА и IoT-датчики, повышает урожайность на 20-30 % и снижает расход удобрений и пестицидов на 40-60 %. При этом автоматизация и робототехника сокращают расходы на рабочую силу примерно на 25 %, а вертикальные фермы позволяют получать в 10–20 раз больше продукции с единицы площади, используя на 95 % меньше воды и земли. Часть исследований посвящена точному управлению водными ресурсами: датчики влажности и интеллектуальные системы полива повышают эффективность использования воды на 40–60 % по сравнению с традиционным поливом, а сочетание IoT-датчиков и спутниковой съёмки позволяет снизить потребление воды на 20-30 %.

Современные обзорные работы подчеркивают, что ключевые достижения достигаются благодаря интеграции нескольких технологий. Алгоритмы ИИ улучшают точность прогнозирования урожайности на 20 %, БПЛА снижают потребление воды на 96 % и удобрений на 40 %, а IoT-основанные системы полива повышают продуктивность культур на 25 %. Эти результаты демонстрируют не только потенциал, но и разнообразие технологий, используемых для мониторинга.

Цель исследований. Целью данной работы является всесторонний анализ и обобщение современных исследований по использованию цифровых технологий и искусственного интеллекта для мониторинга производственного цикла в растениеводстве.

Данная работа направлена на развитие научного представления о возможностях применения цифровых технологий и искусственного интеллекта для формирования интеллектуальных систем мониторинга, обеспечивающих устойчивое и ресурсосберегающее развитие растениеводства.

Материалы и методы исследований. Настоящая статья имеет обзорный характер, поэтому в качестве основного материала использованы опубликованные научные работы, отчёты и документы международных организаций. Отбор источников проводился в соответствии с методологией PRISMA, что обеспечивает систематичность и прозрачность процедуры [2]. Поисковые запросы формировались, по ключевым словам, "digital agriculture", "precision farming", "AI in crop monitoring", "IoT sensors", "UAV crop monitoring", и выполнялись в базах данных Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, PubMed и Google Scholar [3].

Результаты исследований. Исследования показывают, что цифровые технологии обеспечивают принципиально новый уровень прозрачности и оперативности контроля в растениеводстве. IoT-платформы на основе беспроводных сенсорных сетей собирают данные о температуре, влажности, освещённости, содержании питательных веществ и параметрах почвы с высокой временной частотой. Эти данные поступают на облачные платформы, где алгоритмы машинного обучения прогнозируют рост растений, оптимальные сроки орошения и внесения удобрений. Использование IoT в сочетании с периферийным ИИ позволяет обрабатывать информацию непосредственно на ферме, сокращая задержки, уменьшая трафик и повышая устойчивость системы к неполадкам сети [4].

БПЛА с мульти- и гиперспектральными камерами позволяют выявлять болезни и стрессовые состояния растений до появления видимых симптомов. Нормализованный индекс вегетации (NDVI), получаемый с помощью БПЛА, помогает фермеру обнаруживать участки с недостатком питательных веществ или влаги. Компьютерное зрение и глубокие нейронные сети обеспечивают автоматическую классификацию заболеваний с точностью более 90 %. Спутниковые платформы, такие как

Sentinel-2, дополняют данные, предоставляя широкомасштабные карты влажности и продуктивности посевов [5].

Применение технологий также влияет на экономические показатели. Исследования показывают, что автоматизация снижает затраты на рабочую силу в среднем на 25 %, а внедрение роботизированной техники увеличивает точность посева и посадки, что приводит к росту урожайности на 5-10 %. Использование умных сенсоров и переменного внесения удобрений (VRA) сокращает перерасход азота и фосфора на 40–60 %, что уменьшает нагрузку на окружающую среду. Вертикальные фермы и гидропонные установки демонстрируют 10–20-кратное повышение продуктивности на единицу площади и снижение потребления воды на 90 %. Точность прогнозирования урожайности с использованием глубоких нейронных сетей достигает 90-95 %, что позволяет более точно планировать логистику и сбыт [6].

Несмотря на преимущества, количественные данные подтверждают наличие ограничений. Высокая стоимость оборудования (сенсоры, БПЛА, робототехника) остаётся главной преградой. Мелкие фермеры, особенно в развивающихся странах, редко могут вложить средства в IoT-инфраструктуру.

Выводы. 1. Интеграция IoT-датчиков, БПЛА, спутниковых платформ и алгоритмов ИИ формирует основу точного земледелия, обеспечивая повышение урожайности, снижение расхода ресурсов и повышение устойчивости производственного цикла. 2. Исследования показывают, что точное земледелие повышает урожайность на 20-30 %, сокращает расход удобрений и пестицидов на 40-60 %. 3. Основными ограничениями являются высокие капитальные затраты, слабая инфраструктура связи в сельских районах, отсутствие стандартов данных и недостаточный уровень цифровой грамотности фермеров.

Библиографический список

1. Agrawal J., Arafat M. Y. Transforming Farming: A Review of AI-Powered UAV Technologies in Precision Agriculture // *Drones*. 2024. Vol. 8, № 11, article 664.
2. Aslan M. F., Sabanci K., Aslan B. Artificial Intelligence Techniques in Crop Yield Estimation Based on Sentinel-2 Data: A Comprehensive Survey // *Sustainability*. 2024. Vol. 16, № 18. P. 1-23.
3. Chen X. The role of modern agricultural technologies in improving agricultural productivity and land use efficiency. *Frontiers in Plant Science* 16 (2025): 1675657.
4. Liu Zongru, Li Jiyu. Application of Unmanned Aerial Vehicles in Precision Agriculture // *Agriculture*. 2023. Vol. 13, № 7, article 1375.
5. Miller T., Mikiciuk G., Durlik I., Mikiciuk M., Łobodzińska A., Śnieg M. The IoT and AI in Agriculture: The Time Is Now—A Systematic Review of Smart Sensing Technologies. *Sensors* 25(12) (2025): 3583.
6. Raj M., Prahadeeswaran M. Revolutionizing agriculture: a review of smart farming technologies for a sustainable future. *Discover Applied Sciences* 7 (2025): 937.

References

1. Agrawal J., Arafat M. Y. Transforming Farming: A Review of AI-Powered UAV Technologies in Precision Agriculture // *Drones*. 2024. Vol. 8, № 11, article 664.
2. Aslan M. F., Sabanci K., Aslan B. Artificial Intelligence Techniques in Crop Yield Estimation Based on Sentinel-2 Data: A Comprehensive Survey // *Sustainability*. 2024. Vol. 16, № 18. P. 1-23.
3. Chen X. The role of modern agricultural technologies in improving agricultural productivity and land use efficiency. *Frontiers in Plant Science* 16 (2025): 1675657.
4. Liu Zongru, Li Jiyu. Application of Unmanned Aerial Vehicles in Precision Agriculture // *Agriculture*. 2023. Vol. 13, № 7, article 1375.
5. Miller T., Mikiciuk G., Durlik I., Mikiciuk M., Łobodzińska A., Śnieg M. The IoT and AI in Agriculture: The Time Is Now—A Systematic Review of Smart Sensing Technologies. *Sensors* 25(12) (2025): 3583.
6. Raj M., Prahadeeswaran M. Revolutionizing agriculture: a review of smart farming technologies for a sustainable future. *Discover Applied Sciences* 7 (2025): 937.