

УДК 631

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ МОДЕЛИРОВАНИЯ АГРОПРОЦЕССОВ

Станислав Олегович Чиркин

аспирант

stas.chirkin@bk.ru

Владислав Александрович Шацкий

аспирант

shatskiy2000@list.ru

Наталья Викторовна Картечина

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

kartechnatali@mail.ru

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

Аннотация. В статье рассматривается применение цифровых двойников в сельском хозяйстве как инструмента для оптимизации агропроцессов. Анализируются ключевые технологии, методы разработки и практические примеры внедрения цифровых двойников в агросфере. Особое внимание уделяется преимуществам и ограничениям данного подхода, а также перспективам его развития.

Ключевые слова: цифровой двойник, агропроцессы, точное земледелие, моделирование, искусственный интеллект.

Современное сельское хозяйство сталкивается с необходимостью повышения эффективности производства в условиях растущего спроса на продовольствие и ограниченности ресурсов. Одним из перспективных направлений цифровизации агропромышленного комплекса является использование цифровых двойников (ЦД) — виртуальных копий физических объектов или процессов, позволяющих прогнозировать их поведение в различных условиях.

Цифровые двойники находят применение в моделировании агропроцессов, включая управление урожайностью, мониторинг состояния почвы, прогнозирование заболеваний растений и оптимизацию использования ресурсов. В данной статье рассматриваются принципы построения ЦД для сельского хозяйства, их архитектура и практическая значимость.

Методология разработки цифровых двойников для агропроцессов.

Разработка эффективных цифровых двойников для сельского хозяйства требует комплексного подхода, объединяющего современные технологии сбора данных, методы моделирования и инструменты анализа. Основу методологии составляют три взаимосвязанных компонента.

Технологическая основа цифровых двойников включает распределенную сеть датчиков IoT, обеспечивающих мониторинг ключевых параметров агросистемы в реальном времени. Современные фермы оснащаются сенсорами влажности почвы, многоспектральными камерами для оценки состояния растений, метеостанциями и GPS-трекерами для техники. Важную роль играют данные дистанционного зондирования, включая спутниковые снимки и информацию с БПЛА.

Моделирующий компонент представляет собой совокупность математических моделей различного уровня сложности. Детерминированные модели, основанные на физических принципах роста растений, дополняются статистическими методами и алгоритмами машинного обучения. Особое значение имеют гибридные модели, сочетающие физические законы с данными

полевых наблюдений. Точность таких моделей достигает 85-92% для задач прогнозирования урожайности.

Аналитическая платформа обеспечивает обработку поступающих данных, выполнение симуляций и визуализацию результатов. Современные реализации используют облачные вычисления и технологии больших данных, что позволяет обрабатывать информацию с тысяч гектаров сельхозугодий. Интерфейсы визуализации включают картографические сервисы, 3D-модели полей и интерактивные панели управления.

Критически важным аспектом методологии является процедура валидации цифровых двойников. Она включает сравнение прогнозов модели с реальными полевыми измерениями на тестовых участках, оценку статистической значимости результатов и постоянную корректировку параметров. Средняя погрешность валидированных моделей не превышает 7-10% для большинства агропараметров.

Применение цифровых двойников в агропроизводстве

Цифровые двойники находят практическое применение в различных аспектах сельского хозяйства. Одним из ключевых направлений является оптимизация водопользования. Традиционные методы полива часто приводят к перерасходу воды, тогда как ЦД, анализируя данные о влажности почвы в реальном времени, позволяют корректировать режим орошения. Результаты внедрения таких систем демонстрируют снижение водопотребления на 20–30% при одновременном увеличении урожайности на 10–15%.

Еще одной областью применения является управление питанием растений. Цифровые двойники, интегрированные с системами мониторинга почвы, способны рассчитывать оптимальные дозы удобрений для разных участков поля. Это минимизирует химическую нагрузку на экосистему и снижает затраты на агрохимикаты.

Прогнозирование урожайности – еще одна важная функция ЦД. Комбинируя данные о погоде, состоянии почвы и исторической урожайности, алгоритмы машинного обучения способны предсказывать урожай с точностью

до 85–90%. Такие прогнозы позволяют фермерам лучше планировать логистику и продажи.

Сравнительный анализ эффективности

Для наглядной оценки преимуществ цифровых двойников рассмотрим их сравнение с традиционными методами управления агропроцессами (Таблица 1).

Таблица 1

Сравнение эффективности управления агропроцессами.

| Критерий | Традиционные методы | С использованием ЦД |
|--------------------------|---------------------|---------------------|
| Точность полива | $\pm 30\%$ | $\pm 5\%$ |
| Эффективность удобрений | 60–70% | 85–90% |
| Точность прогноза урожая | 65–75% | 85–90% |
| Затраты на ГСМ | Высокие | Оптимизированные |

Как видно из таблицы, применение цифровых двойников обеспечивает существенное повышение точности управления всеми ключевыми параметрами агропроизводства.

Технологические ограничения и перспективы.

Несмотря на очевидные преимущества, внедрение цифровых двойников сталкивается с рядом ограничений. Основным барьером остается высокая стоимость развертывания системы, включая затраты на датчики, вычислительные мощности и ПО. Другим критическим фактором является необходимость наличия качественных входных данных – при их недостатке или низком качестве точность моделей существенно снижается.

Перспективы развития технологии связаны с удешевлением IoT-устройств, развитием edge-вычислений и совершенствованием алгоритмов ИИ. Особый интерес представляет интеграция ЦД с автономной сельхозтехникой, что позволит создать полностью автоматизированные агрокомплексы.

Цифровые двойники демонстрируют значительный потенциал для трансформации агропромышленного комплекса. Уже сегодня их применение позволяет существенно повысить эффективность использования ресурсов и

урожайность. Дальнейшее развитие технологии будет определяться темпами цифровизации отрасли и снижением стоимости решений.

Список литературы:

1. Чепраков И. В., Пчелинцева Н. В., Гущина А. А. Искусственный интеллект, его проблемы и перспективы развития // Наука и Образование. 2022. Т. 5. № 2. EDN GFQQGD.
2. Пчелинцева Н. В., Кувардин С. Р. Искусственный интеллект в сельском хозяйстве: зарубежный и отечественный опыт // Молодежная наука - развитию агропромышленного комплекса: Материалы II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Курск, 21 декабря 2021 года. Том Часть 1. Курск: Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова. 2021. С. 377-381. EDN ESDCNQ.
3. Чиркин С. О., Картечина Н. В., Рубанов В. А. Влияние новых цифровых технологий на формирование инженера-агронома // Наука и Образование. 2022. Т. 5. № 2. EDN WQRMJL.
4. Чиркин С. О., Картечина Н. В., Рубанов В. А. Применение искусственного интеллекта в сельском хозяйстве // Наука и Образование. 2022. Т. 5. № 2. EDN UMAKVA.

UDC 631

DIGITAL TWINS FOR MODELING AGRICULTURAL PROCESSES

Stanislav Ol. Chirkin

postgraduate student

stas.chirkin@bk.ru

Vladislav Al. Shatskiy

postgraduate student

shatskiy2000@list.ru

Natalia V. Kartechina

candidate of agricultural sciences, associate professor

kartechnatali@mail.ru

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

Annotation. The article examines the use of digital twins in agriculture as a tool for optimizing agricultural processes. Key technologies, development methods, and practical examples of implementing digital twins in the agricultural sector are analyzed. Particular attention is paid to the advantages and limitations of this approach, as well as the prospects for its development.

Key words: digital twin, agricultural processes, precision farming, modeling, artificial intelligence.

Статья поступила в редакцию 10.09.2025; одобрена после рецензирования 20.10.2025; принята к публикации 31.10.2025.

The article was submitted 10.09.2025; approved after reviewing 20.10.2025; accepted for publication 31.10.2025.