

**ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ФЕРМ:
ВНЕДРЕНИЕ И ВЛИЯНИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ
В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**
**Digital farm twin technologies:
implementation and impact on efficiency in agriculture**

М. Д. Батраков, студент

Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина
(Краснодар, ул. Калинина, 13)

Аннотация

В статье исследуется одно из наиболее перспективных инструментов трансформации современного сельского хозяйства – цифровые двойники ферм. В работе подчеркивается, что разработке и внедрению динамических виртуальных моделей, которые в реальном времени отражают состояние физических объектов и процессов, предшествовал комплекс вызовов, с которым столкнулось сельское хозяйство: изменение климата, деградация почв, рост стоимости ресурсов и необходимость повышения производительности. Актуальность внедрения цифровых двойников подтверждается статистическими данными, которые демонстрируют положительные тенденции в области повышения урожайности на 5-15%, сокращения расходов воды и удобрений на 20-30%, а также минимизации рисков за счет моделирования различных сценариев.

Ключевые слова: цифровизация, цифровые двойники, сельское хозяйство, эффективность развития.

Summary

The article explores one of the most promising tools for the transformation of modern agriculture – digital farm twins. The paper emphasizes that the development and implementation of dynamic virtual models that reflect the state of physical objects and processes in real time was preceded by a set of challenges faced by agriculture: climate change, soil degradation, rising resource costs and the need to increase productivity. The relevance of the introduction of digital twins is confirmed by statistical data that demonstrate positive trends in increasing yields by 5-15%, reducing water and fertilizer costs by 20-30%, and minimizing risks by modeling various scenarios.

Keywords: digitalization, digital twins, agriculture, development efficiency.

Сектор цифровых двойников в сельском хозяйстве представляет собой динамично развивающееся направление, которое объединяет передовые цифровые технологии с традиционными агропромышленными практиками. Однако, несмотря на потенциал данной технологии, ее внедрение сталкивается с рядом проблем, среди которых: отсутствие единых стандартов разработки и внедрения цифровых двойников, дефицит квалифицированных кадров, способных работать с комплексными цифровыми моделями, ограниченная адаптация технологий к условиям малых и средних хозяйств. В условиях роста глобальных вызовов, таких как изменение климата, дефицит ресурсов и экономическая нестабильность, цифровые двойники ферм становятся ключевым инструментом повышения эффективности агропромышленного комплекса.

Основной целью статьи является рассмотрение технологий цифровых двойников в сельском хозяйстве и на основе исследования этапов их внедрения отследить влияние на эффективность отрасли. В данной работе применим системный подход, включающий анализ суще-

ствующих исследований, сравнительный анализ, эмпирическое исследование.

Данная проблема широко изучается современными учеными. Например, научные подходы к идентификации цифровых двойников относительно сельского хозяйства отражены в работах таких авторов, как Васильева И. В. [1], Пилипук А. [2], Эшпулатов Д. Б. [6], а эффекты для отрасли сельского хозяйства подробно рассмотрены в работах Лобачевского Я. П., Миронова Д. А., Кислицкого М. М., Мироновой А. В. [5].

Обобщив мнения авторов, под цифровым двойником будем понимать виртуальную динамическую модель, отражающую текущее состояние физического объекта (поля, техники, животных или всей фермы) в режиме реального времени. Его создание основано на интеграции данных с датчиков IoT, спутниковых снимков, метеопрогнозов и других источников, что позволяет фермерам прогнозировать урожайность, оптимизировать расход ресурсов и минимизировать риски. Основное преимущество концепции заключается в возможности непрерывного мониторинга процессов, моделирования различных сценариев и тестирования изменений в виртуальной среде без угрозы для реального производства. Сравнение традиционного и цифрового управления фермой приведем в таблице 1. Из таблицы видно, что цифровые двойники в настоящее время имеют преимущества по сравнению с традиционными подходами, но заметим, что основной проблемой инновационного подхода является острый дефицит квалифицированных кадров.

Таблица 1

Сравнение традиционного и цифрового управления фермой

Критерий	Традиционное управление	Цифровое управление (с использованием цифровых двойников)
Сбор данных	Ручные замеры, визуальный осмотр	Автоматизированный сбор данных с датчиков IoT, дронов, спутников
Анализ информации	Опирается на опыт фермера, интуицию	AI и машинное обучение, прогнозные модели, Big Data-аналитика
Принятие решений	Реактивное (после возникновения проблем)	Проактивное (предсказание и предотвращение рисков)
Управление ресурсами	Фиксированные нормы полива, удобрений	Динамическая оптимизация (точное земледелие, адаптивные схемы)
Мониторинг урожайности	Оценка по итогам сезона	Прогнозирование в реальном времени, корректировка стратегий
Техническое обслуживание	Плановый ремонт или по факту поломки	Предиктивная аналитика (предупреждение износа)
Затраты	Высокие из-за перерасхода ресурсов и простоев	Снижение на 15–30% за счет оптимизации
Экологичность	Избыточное использование воды, химикатов	Минимизация воздействия за счет точного расчета
Масштабируемость	Ограничена человеческим фактором	Легко адаптируется под новые участки, культуры, технологии

Для разработки цифровых двойников применяются современные технологии, включая искусственный интеллект и машинное обучение, которые анализируют большие массивы данных и строят прогнозные модели. Интернет вещей (IoT) обеспечивает сбор и передачу информации с датчиков влажности, температуры, состояния почвы и техники, а специализированные платформы управления данными, такие как решения от 1С:ERP или AgriTech-стартапов, интегрируют разрозненные данные в единую систему. Например, на официальном сайте «Свое фермерство» [3] отмечено, что такая технология, как Texas A&M AgriLife

Research объединяет данные дронов, сенсоров и ИИ для моделирования роста культур и оптимизации полива, что позволяет сократить водопотребление на 20–30% [3]. Другой пример – использование цифровых двойников сельхозтехники для прогнозирования износа деталей, что снижает простои и затраты на ремонт. В Новой Зеландии кооператив Waimakariri Irrigation Limited применяет цифровую модель водосбора площадью 23 000 га для управления ирригацией, учитывая данные о влажности почвы и уровне воды в реках, что повысило эффективность водопользования на 15% [4].

Соответственно считаем необходимым сравнить имеющиеся технологии создания цифровых двойников (Табл. 2).

Таблица 2

Сравнение технологий для создания цифровых двойников ферм

Технология	Применение	Примеры использования
Искусственный интеллект (AI)	Анализ данных, прогнозирование урожайности, оптимизация ресурсов	Texas A&M AgriLife Research (оптимизация полива)
Интернет вещей (IoT)	Сбор данных с датчиков (влажность, температура, состояние техники)	Умные теплицы, мониторинг скота
ГИС и спутниковые данные	Картографирование полей, анализ состояния почвы	Precision farming, мониторинг эрозии
3D-моделирование	Создание виртуальных копий ферм и оборудования	Цифровые двойники сельхозтехники

По данным исследования T1 (2023), сельское хозяйство России занимает лишь 16-е место по цифровизации среди отраслей. При этом ключевые тренды включают: облачные сервисы (32% компаний), цифровое хранение данных (54,2%), киберзащиту (92,9%), ИИ (21,7% – NLP, 33,7% – компьютерное зрение), IoT (17% для мониторинга почв, скота и логистики) и электронные закупки (47,6%). Несмотря на активное внедрение отдельных технологий, отрасль отстает в комплексной цифровой трансформации [7].

Внедрение цифровых двойников включает несколько этапов (табл. 3): сбор данных (сканирование, фотограмметрия, исторические данные), создание 3D-модели, интеграцию с IoT-устройствами, настройку алгоритмов анализа и тестирование.

Критически важным является этап верификации модели, так как точность прогнозов зависит от качества исходных данных и корректности алгоритмов. После внедрения система требует регулярной актуализации для отражения изменений в реальных условиях.

Таблица 3

Этапы внедрения цифрового двойника фермы

Этап	Действия	Результат
Сбор данных	Использование датчиков, дронов, спутниковых снимков	База данных о состоянии полей, животных, техники
3D-моделирование	Разработка виртуальной модели фермы	Цифровая копия объекта (поля, фермы, техники)
Интеграция с IoT	Подключение датчиков и систем мониторинга	Режим реального времени для анализа
Тестирование	Проверка модели на исторических данных	Верифицированная цифровая модель
Внедрение	Использование в управлении фермой	Оптимизация решений, снижение затрат

Пилипук А. в своих работах значительное внимание уделяет оценке эффективности цифровых двойников для сельского хозяйства [2]. Так, в работах автора и на специализированных сайтах [3, 4] эффективность цифровых двойников подтверждается результатами внедрения: хозяйства (фермы), использующие эту технологию, демонстрируют снижение затрат на удобрения и воду на 10–25%, повышение урожайности на 5–15% и уменьшение экологического следа (Табл. 4).

Таблица 4

Эффективность цифровых двойников в сельском хозяйстве

Показатель	Улучшение (%)	Пример
Снижение расхода воды	20–30%	Оптимизация полива (Texas A&M AgriLife)
Повышение урожайности	5–15%	Точное внесение удобрений
Снижение затрат на ремонт техники	10–25%	Прогнозирование износа деталей
Экономия удобрений	15–20%	Анализ почвы и точечное внесение

Однако, что с нашей точки зрения успех зависит от готовности сельскохозяйственной организации к цифровизации, включая наличие инфраструктуры (датчиков, стабильного интернета) и квалифицированных кадров. Перспективы развития связаны с усложнением моделей за счет включения блокчейна для отслеживания цепочек поставок и интеграции с климатическими платформами для долгосрочного прогнозирования.

Согласно последним исследованиям, глобальный рынок цифровых двойников для сельского хозяйства продемонстрировал значительный рост, достигнув в 2024 году объема в 1,45 млрд долларов США. Ожидается, что в период с 2026 по 2033 год данный сегмент будет развиваться с совокупным годовым темпом роста (CAGR) в 18,9%, что позволит ему достичь отметки в 6,92 млрд долларов США к концу прогнозируемого периода [8]. Ожидается, что к 2033 году рынок цифровых двойников в сельском хозяйстве преодолет отметку в 6,9 млрд долларов США, что свидетельствует о переходе от пилотных проектов к массовому внедрению данных технологий. Особый рост прогнозируется в следующих направлениях: точное земледелие (precision farming), умные тепличные комплексы, цифровые модели животноводческих хозяйств, прогнозная аналитика для цепочек поставок сельхозпродукции.

Данная динамика подтверждает, что цифровые двойники становятся неотъемлемым элементом современного агропромышленного комплекса, обеспечивающим его устойчивое развитие в условиях растущих глобальных вызовов.

Таким образом, цифровые двойники ферм представляют собой не просто технологический тренд, а необходимое условие для устойчивого и рентабельного сельского хозяйства будущего.

Цифровые двойники ферм представляют собой качественно новый этап развития сельского хозяйства, обеспечивающий переход к наукоемкому и ресурсосберегающему земледелию. Как показал анализ, ключевыми преимуществами данной технологии являются:

- возможность непрерывного мониторинга состояния агроэкосистем,
- высокая точность прогнозирования,
- оптимизация использования ресурсов и снижение экологической нагрузки.

Перспективы развития направления связаны с интеграцией цифровых двойников с блокчейн-платформами для отслеживания цепочек поставок и внедрением квантовых вычислений для обработки сверхбольших массивов данных. Учитывая глобальные тренды, можно прогнозировать, что в течение следующего десятилетия цифровые двойники станут стандартом для рентабельного и устойчивого сельскохозяйственного производства, формируя осно-

ву Agriculture 4.0. Для максимальной реализации потенциала этих технологий требуется развитие нормативной базы, государственная поддержка цифровизации малых ферм и инвестиции в образовательные программы для аграриев.

Библиографический список

1 *Васильева И. В.* Использование цифровых технологий в деятельности аграрных предприятий / И. В. Васильева, Е. Е. Можаяев, А. Н. Идрисов // Вестник РАЕН. 2023. Т. 23, № 3. С. 29-36.

2 *Пилипук А.* Концепция развития цифровых двойников в сельскохозяйственном производстве: аспекты теории и практики // Аграрная экономика. 2023. № 10 (341). С. 3-21.

3 Технология цифровых двойников. URL: https://krasnodar.1cbit.ru/blog/tsifrovye-dvoyniki-v-promyshlennosti/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F.

4 Цифровые двойники в агротехнологии: чем полезно виртуальное моделирование фермы. URL: <https://svoefermerstvo.ru/svoemedia/articles/cifrovye-dvojniki-v-agrotehnologii-chem-polezno-virtual-noe-modelirovanie-fermy> (дата обращения: 30.06.2025).

5 Эффекты от применения цифровых двойников в сельском хозяйстве / Я. П. Лобачевский, Д. А. Миронов, М. М. Кислицкий, А. В. Миронова // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2023. № 103. С. 71-78.

6 *Эшпулатов Д. Б.* Возможности применения цифровых двойников в сельском хозяйстве // Экономика и предпринимательство. 2023. № 3 (152). С. 523-529.

7 Аналитика журнала Журнал «Агроинвестор». URL: <https://www.agroinvestor.ru/analytics/news/43392-selskoe-khozyaystvo-zanyalo-16-e-mesto-sredi-otrasley-po-urovnyu-vnedreniya-tsifrovyykh-tekhnologiy/>.

8 Intelligent Agriculture Digital Market. URL: <https://www.verifiedmarketreports.com/ru/product/smart-agriculture-digital-twin-market/>.