

Дата публикации 28.05.2026

УДК 378.147:631.5

Шемонаева И.И. Цифровые двойники полевых экосистем как инструмент практического обучения прикладной физике в агрономии

Шемонаева Ирина Игоревна

ассистент кафедры математики, информатики, физики и методики обучения,
аспирант института психологии и педагогики,
ФГБОУ ВО «Елецкий государственный
университет им. И.А. Бунина», РФ, г. Елец
shemonaeva.irin@yandex.ru

Digital twins of field ecosystems as a practical teaching tool for applied physics in agronomy

Shemonaeva Irina Igorevna

assistant of the Department of Mathematics, Computer Science, Physics and training
methods, postgraduate student of the Institute of Psychology and Pedagogy Bunin
Yelets State University, Russia, Yelets

Аннотация. В статье рассматривается инновационный подход к преподаванию физики студентам агрономических специальностей через использование технологии цифровых двойников (Digital Twins). Генезис данной технологии рассматривается от первых концепций моделирования сложных систем до современных решений в рамках «Сельского хозяйства 4.0». Описаны методические приемы интеграции данных мониторинга полей, спутниковых снимков и сенсорных сетей в образовательный процесс. Особое внимание уделено физическим аспектам моделирования динамических процессов в полевых экосистемах, что позволяет трансформировать абстрактные законы в инструменты управления урожайностью и ресурсосбережения.

Ключевые слова: агрономия, цифровые двойники, прикладная физика, IoT-технологии, точное земледелие, мониторинг полей, имитационное моделирование, история цифровых двойников.

Abstract. The article considers an innovative approach to teaching physics to students of agronomic specialties through the use of Digital Twins technology. The genesis of this technology is considered from the first concepts of modeling complex systems to modern solutions within the framework of Agriculture 4.0. Methodological techniques for integrating field monitoring data, satellite imagery, and sensor networks into the educational process are described. Special attention is paid to the physical aspects of modeling dynamic processes in field ecosystems, which makes it possible to transform abstract laws into tools for yield management and resource conservation.

Keywords: agronomy, digital twins, applied physics, IoT technologies, precision agriculture, field monitoring, simulation modeling, the history of digital twins.

Современная агрономия переживает этап технологической сингулярности, где классическое растениеводство неразрывно связано с высокотехнологичными решениями. В этих условиях фундаментальная подготовка по точным наукам, в

частности по физике, становится критически важной, так как именно физические параметры — влажность почвы, солнечная радиация, теплообмен и механика почвообрабатывающих агрегатов — лежат в основе производственного процесса. Однако традиционные методики преподавания физики в аграрных вузах часто страдают от отсутствия контекстной привязки к будущей профессии, что ведет к низкой мотивации студентов и формальному усвоению знаний [3].

Решением данной проблемы может стать внедрение в учебный процесс «цифровых двойников» полевых экосистем - динамических программных моделей реальных участков поля, которые воспроизводят физические процессы (например, теплообмен, движение влаги, оптические свойства посевов) в режиме реального времени [4]. Иными словами - это виртуальный прототип физического объекта (поля, посева), который синхронизируется с оригиналом на основе данных датчиков и математических алгоритмов [5].

Для понимания педагогического потенциала технологии необходимо обратиться к истории ее возникновения. Как отмечает Д.А. Сосфенов [7], сама концепция цифрового двойника прошла путь от простых математических моделей до сложных интеллектуальных систем. Зарождение идеи связывают с работами Майкла Гривза и концепциями НАСА начала 2000-х годов, где виртуальные прототипы использовались для зеркального отображения состояния космических аппаратов. Сегодня цифровой двойник определяется как сложная программная система. Она основывается на данных датчиков и имитационном моделировании, обеспечивая двустороннюю связь между физическим и виртуальным объектом в режиме реального времени.

В аграрном образовании этот «исторический скачок» от чертежа к динамической модели позволяет студентам изучать физику не как статичную дисциплину, а как науку о постоянно меняющихся параметрах среды [9].

Внедрение цифровых двойников в сельское хозяйство базируется на интеграции интернета вещей (IoT), облачных вычислений и Big Data. По мнению А.И. Жолобовой и О.Т. Ергуновой [8], цифровой двойник в сельском хозяйстве

- это не просто визуализация, а инструмент оптимизации использования ресурсов (воды, удобрений) через создание «цифрового хозяйства».

Для обучения студентов-агрономов прикладной физике принципиальное значение имеет архитектура двойника полевой экосистемы (рис. 1) [8].

Архитектура двойника полевой экосистемы	
Физический уровень	Реальное поле с сетью IoT-датчиков
Виртуальный уровень	Математическая модель, описывающая физические процессы (диффузию, фотосинтез, термодинамику)
Связующий уровень	Алгоритмы обработки данных, передающие информацию о состоянии почвенного профиля в модель

Рисунок 1. Архитектура двойника полевой экосистемы

Особое место в курсе прикладной физики занимает изучение методов дистанционного зондирования и сенсорики. И.А. Поздеев и А.А. Аббасова [10] подчеркивают, что современные цифровые двойники полей позволяют осуществлять непрерывный мониторинг вегетационных индексов, состояния влажности и наличия вредителей. В образовательном процессе это дает возможность студентам на практике применять знания из разделов оптики (спектральный анализ отражения листьев) и электродинамики (работа датчиков емкостного типа для измерения влажности).

В свою очередь изучение физики может превратиться в исследовательский проект при использовании БПЛА и спутниковых данных для наполнения цифрового двойника. Студент анализирует, как изменение температуры (термодинамика) влияет на испарение влаги и, как следствие, на тепловой баланс растения, отображаемый в виртуальной модели [10].

Для студента-агронома представленные возможности становятся интерактивной лабораторией для изучения разделов прикладной физики (рис. 2). Согласно В.В. Якушеву [2], именно агрофизическое моделирование позволяет связать теорию с практикой управления продукционным процессом.

Раздел прикладной физики	Физические процессы и законы	Примеры моделирования в рамках цифрового двойника
Термодинамика и теплофизика	Теплоемкость, теплопроводность, температурный градиент.	Изучение влияния физических свойств материалов на суточный тепловой режим почвы.
Гидрофизика	Фильтрация влаги, капиллярное поднятие, закон Дарси.	Визуализация латентных процессов движения почвенного раствора в зависимости от гранулометрического состава.
Оптика и фотометрия	Спектральная отражательная способность, поглощение и рассеяние света.	Изучение физических основ формирования индексов вегетации листовым аппаратом растений.

Рисунок 2. Интеграция разделов прикладной физики в учебный процесс на базе цифровых двойников

Применение методов имитационного моделирования в курсе физики для студентов аграрных специальностей способствует замене пассивного усвоения знаний на активную исследовательскую деятельность (рис. 3). Студенты получают уникальный инструмент для наблюдения за процессами, которые в реальности скрыты - например, капиллярное поднятие воды в почве, описываемое законами гидрофизики [6].

Название этапа	Содержание деятельности студентов	Формируемые цифровые и профессиональные навыки
Этап 1 - сбор данных	Полевое измерение физических параметров (влажность, температура, освещенность) с использованием портативных IoT-датчиков.	Навыки работы с аппаратным обеспечением систем точного земледелия (IoT-мониторинг).
Этап 2 - инициализация модели	Перенос данных в программную среду (CropOS, скрипты на Python) и создание динамического «цифрового слежка» полевой экосистемы.	Навыки цифрового моделирования и обработки первичных массивов данных.
Этап 3 - физический эксперимент «Что, если?»	Вариативное изменение физических параметров (плотность почвы, угол инсоляции) в модели и анализ прогнозного отклика системы.	Изучение физических основ формирования индексов вегетации листовым аппаратом растений.

Рисунок 3. Структура и содержание практического занятия на основе технологии цифровых двойников

Внедрение технологий цифровых двойников открывает перед аграрным образованием принципиально новые возможности. Эти виртуальные модели делают видимым невидимое: тепловые потоки в почве, распределение напряжений в конструкциях сельхозмашин, движение влаги и питательных веществ. Студенты получают уникальный инструмент для наблюдения и экспериментов с процессами, которые в реальности скрыты от глаз или протекают слишком медленно/быстро [6].

Это коренным образом меняет восприятие физики - она перестает быть набором абстрактных формул из учебника, превращаясь в живой язык для описания и проектирования агроэкосистемы. Понимание физических законов становится не самоцелью, а практическим навыком, фундаментом для принятия инженерных и агрономических решений [3].

Такая цифровизация - не просто модный тренд, а насущная необходимость. Современный агропромышленный комплекс - это «умные» фермы и роботизированные комплексы. Выпускник аграрного направления должен быть готов работать в этой среде, в значить, владеть цифровыми инструментами анализа и управления. Однако успешная интеграция этих технологий в учебный процесс - сложная организационно-методическая задача [1]. Она требует пересмотра учебных планов, где физика и информатика должны быть не изолированными дисциплинами, а тесно связаны с агрономией, мелиорацией, механизацией. Ключевую роль играет налаживание эффективного диалога и совместной проектной работы между кафедрами фундаментальных и прикладных наук. Без этого даже самое передовое программное обеспечение останется лишь демонстрационным материалом.

В итоге, переход к моделированию с помощью цифровых двойников поднимает статус прикладной физики. Из вспомогательного предмета она становится стержневой дисциплиной, формирующей системное мышление будущего специалиста. Такой подход готовит не просто операторов техники, а инженеров-агрономов, способных анализировать, прогнозировать и оптимизировать сложные природно-технические системы. Это критически

важно для адаптации сельского хозяйства к вызовам цифровой эпохи и изменяющегося климата, где требуются глубокие знания о фундаментальных процессах, лежащих в основе жизни и производства.

Список литературы

1. Трухачев, В. И. Цифровая трансформация сельского хозяйства: роль образования и науки / В. И. Трухачев // Вестник аграрной науки. — 2021. — № 6 (93). — С. 3–9.
2. Якушев, В. В. Точное земледелие: теория и практика / В. В. Якушев. — Санкт-Петербург : АФИ, 2016. — 322 с.
3. Чернышова, Л. В. Цифровизация образования в аграрных вузах как условие подготовки специалистов АПК нового поколения / Л. В. Чернышова, Т. В. Капустина // Современные проблемы науки и образования. — 2020. — № 5.
4. Pylianidis, C. Introducing digital twins to agriculture / C. Pylianidis, S. Osinga, I. N. Athanasiadis // Computers and Electronics in Agriculture. — 2019. — Vol. 160. — P. 105–117.
5. Verdouw, C. Digital twins in smart farming / C. Verdouw, B. Tekinerdogan, A. Beulens, S. Wolfert // Agricultural Systems. — 2021. — Vol. 189. — Art. 103046.
6. Шапиро, Д. А. Применение имитационного моделирования в обучении физике студентов сельскохозяйственных направлений / Д. А. Шапиро, А. В. Морозов // Мир науки, культуры, образования. — 2022. — № 2 (93). — С. 154–157.
7. Сосфенов, Д. А. Цифровой двойник: история возникновения и перспективы развития / Д. А. Сосфенов // Интеллект. Инновации. Инвестиции. — 2023. — № 4. — С. 110–118.
8. Жолобова, А. И. Использование цифровых двойников в сельском хозяйстве / А. И. Жолобова, О. Т. Ергунова // Аграрный вестник. — 2023. — № 2. — С. 31–39. — DOI 10.24888/2949-2793-2023-2-31-39.

Список источников

9. Баранов, А. С. Цифровые технологии в агрономии : учебное пособие / А. С. Баранов, И. М. Михайленко, А. В. Рожнов. — Москва : КноРус, 2023. — 210 с.
10. Поздеев, И. А. Цифровые двойники полей: современный мониторинг в сельском хозяйстве / И. А. Поздеев, А. А. Аббасова // Вестник науки. — 2026. — № 2 (95). — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovye-dvoyniki-poley-sovremennyy-monitoring-v-selskom-hozyaystve>.