

НЕПРЕРЫВНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Известия Балтийской государственной академии
рыбопромышленного флота. 2025. № 4(74). С. 26–33

Научная статья

УДК 378.14

Doi:10.46845/2071-5331-2025-4-74-26-33

Перспективы развития цифровых двойников в высшем образовании

Нина Анатольевна Фролова¹, Виктория Александровна Мельникова²✉

^{1,2}Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

¹nina.frolova@klgtu.ru, <http://orcid.org/0000-0003-0141-1998>

²viktoriia.melnikova@klgtu.ru✉, <http://orcid.org/0009-0002-4043-771X>

Аннотация. Цифровой двойник представляет собой виртуальную копию физического объекта или системы, позволяющую моделировать процессы и анализировать поведение реального прототипа. Рассматривается широкий спектр вопросов, связанных с цифровыми двойниками, начиная от концепций цифровых двойников и заканчивая прикладными примерами и перспективами использования в различных отраслях промышленности и экономики. Представлены исследования российских ученых, которые вносят важный вклад в понимание сущности цифровых двойников и особенностей их применения в разных секторах экономики и в высшем образовании, формируя основу для продолжения изучения и адаптации технологии в России. Обзор существующих разработок подтверждает, что концепция цифровых двойников обладает огромным потенциалом для преобразования различных отраслей промышленности. Внедрение в образовательный процесс и выстраивание «цифровых учебных фабрик» позволит виртуально отработать полученные навыки, повышая эффективность работы каждого студента в производственных условиях. Несмотря на достигнутые успехи, существует ряд серьезных препятствий для массового внедрения цифровых двойников. Среди них выделяются высокие издержки, сложность интеграции данных, проблемы масштабируемости и риски, связанные с нарушением конфиденциальности.

Ключевые слова: цифровые двойники, высшее образование, цифровизация, цифровая этика, университет, инженерная подготовка.

Для цитирования: Фролова, Н. А., Мельникова, В. А. Перспективы развития цифровых двойников в высшем образовании // Известия Балтийской государственной академии рыбопромышленного флота. – 2025. – № 4(74). – С. 26–33.

Введение

Современные образовательные учреждения сталкиваются с необходимостью адаптации учебных программ к непрерывно меняющимся требованиям сферы занятости и общества в связи с необходимостью перехода к промышленному лидерству на глобальных рынках. Быстрое устаревание любых инженерно-технических и технологических компетенций, появление сверхсложных научно-технических проблем требуют от высшего образования ускорения темпов подготовки квалифицированных кадров. В то же время потенциал физических и математических моделей, на которых все еще базируется подготовка кадров, практически исчерпан. Для решения этой проблемы активно внедряются информационные технологии, среди которых особую значимость приобретают цифровые двойники.

Свою историю цифровые двойники начали в 1985 - 2003 годах, когда появились такие понятия как модель информационного зеркалирования, компьютерное цифровое управление, 3D-моделирование, роботы. Эволюция цифровых двойников и сопутствующих технологий представлена на рисунке.



Рис. Эволюция цифровых двойников и сопутствующих технологий

Основная цель цифрового двойника заключается в обеспечении возможности предсказательного анализа поведения объекта, оптимизации процессов эксплуатации и принятия оптимальных решений на основе данных. Для реализации полноценного цифрового двойника необходимы следующие элементы:

- физический объект (реальный объект или система, которую планируется имитировать);
- датчики и устройства сбора данных (обеспечивают сбор необходимых данных о состоянии объекта);
- платформа обработки данных (обрабатывает поступающие данные и создает аналитику);
- моделируемое окружение (среда, в которой осуществляется симуляция и визуализация состояния объекта);
- алгоритмы и методы анализа (инструменты для интерпретации данных и формирования рекомендаций).

Создание цифрового двойника требует интеграции множества технологий и методов машинного обучения, моделирования и симуляции, Интернета вещей (IoT) и пр.

Сферы экономики, в которых цифровые двойники нашли широкое применение: авиационно-космическая отрасль, автомобильная отрасль, водный транспорт, энергетика, добывающая промышленность, обрабатывающие производства, сельское хозяйство, строительство, городская инфраструктура, здравоохранение, образование, розничная торговля.

Новая профессия XXI века – специалист по цифровым двойникам, занимающийся разработкой, созданием и управлением цифровыми двойниками физических объектов, систем или процессов.

Несмотря на значительные достижения в области цифровых двойников, существуют и проблемы, препятствующие их повсеместному внедрению:

- недостаточная стандартизация протоколов обмена данными между различными платформами;
- интеграция разнородных данных;
- высокие требования к вычислительным ресурсам;
- недостаточная точность моделей;
- ограниченность сенсоров и датчиков;
- высокие затраты на разработку, внедрение и поддержку сложных цифровых двойников;
- отсутствие понятных бизнес-моделей и трудности оценки экономической отдачи от инвестиций в цифровое производство;
- зависимости от внешних поставщиков технологий;
- нехватка высококвалифицированных специалистов широкого профиля для разработки, настройки и сопровождения систем;
- человеческое восприятие подобных инноваций;
- защита персональных данных, интеллектуальной собственности и кибербезопасности должны быть на максимальном уровне.

Устранение этих барьеров потребует комплексного подхода, включающего инвестиции в инфраструктуру, подготовку высококвалифицированных кадров, разработку новых стандартов и правил регулирования отрасли.



Целью настоящего исследования является изучение и информатизации общества касательно существующих отечественных практик применения цифровых двойников в образовании и промышленности, включая потенциал их практического применения.

За последние 5 лет произошел существенный сдвиг по заявленной тематике, поэтому потребность в исследовании такого рода, особенно в изучении развития этого направления на отечественном рынке, не вызывает сомнений.

Методология

При выполнении работы применяли методы анализа, систематизации и обобщения.

Рассматриваемым вопросам посвящено большое количество научных публикаций, поэтому было принято решение сосредоточиться на трех основных частях исследования:

- 1) монография Боровкова А. И. «Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности»;
- 2) отечественные исследования глубиной поиска 5 лет;
- 3) применение цифровых двойников в инженерном образовании.

Исследование монографии Боровкова А. И. «Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности»

Монография Александра Ивановича Боровкова [1], изданная в 2023 году, посвящена исследованию феномена цифровых двойников - виртуальных моделей физических объектов, процессов и систем, используемых для оптимизации производственных циклов, повышения эффективности управления производственными процессами и снижения рисков при внедрении новых технологий.

Автор дает определение понятию «цифровой двойник», охватывает ключевые характеристики и преимущества перед традиционными методами моделирования, а также подробно раскрывает теоретические аспекты цифровой трансформации производства, подчеркивая важность комплексного подхода к созданию цифровых моделей предприятий. Цифровизация рассматривается как инструмент устойчивого развития промышленных компаний, обеспечивающий рост производительности труда, повышение качества продукции и снижение затрат.

Методологические подходы построения цифровых двойников включают этапы проектирования (сбор данных, построение модели, верификацию и валидацию), использование информационных технологий и методов моделирования для разработки виртуальных аналогов реальных производств. Особое внимание уделяется применению искусственного интеллекта, машинного обучения и больших данных для улучшения точности прогнозирования и принятия решений.

Практическая значимость исследования заключается в демонстрации примеров успешного внедрения цифровых двойников в различных отраслях промышленности, включая машиностроение, металлургию и химическую промышленность. Приводятся конкретные кейсы российских компаний, демонстрируя экономическую эффективность и преимущества внедрения инновационных технологий. Анализируются проблемы, возникающие при создании и эксплуатации цифровых двойников, такие как нехватка квалифицированных кадров, необходимость интеграции разнородных ИТ-систем и высокая стоимость проектов. Рассматриваются пути решения этих проблем, включая развитие образовательных программ, стандартизацию интерфейсов и оптимизацию бизнес-процессов.

В заключении подчеркивается ключевое значение цифровых двойников для современной экономики, особенно в условиях глобализации и ужесточения конкуренции и делается вывод о необходимости дальнейшего изучения и совершенствования методологии создания цифровых двойников, а также активного распространения передовых практик среди отечественных производителей.

Вместе с тем можно выделить несколько недостатков:

1. Недостаточная глубина раскрытия некоторых тем - хотя монография охватывает широкий круг вопросов, некоторые аспекты хотелось бы увидеть подробнее. Например, приводятся примеры успешных кейсов, но не хватает конкретных деталей о проблемах, возникающих при внедрении цифровых двойников, и способах их решения.

2. Ограниченность примеров - большинство приведенных примеров относится к крупным международным компаниям и проектам, а не к внедрению цифровых двойников в российских условиях, учитывая специфику реального отечественного промышленного сектора.

3. Отсутствует критический взгляд на ограничения технологии – автор уделяет много внимания преимуществам цифровых двойников, однако недостаточно освещены потенциальные ограничения и проблемы, такие как сложность интеграции с существующими системами, необходимость больших объемов данных и высокая стоимость первоначальной настройки.

4. Отсутствие практических инструментов - несмотря на теоретическую ценность материала, книга не предлагает конкретные практические инструменты или пошаговые инструкции для разработчиков и пользователей цифровых двойников.

Таким образом, рассматриваемый научный труд вносит свой вклад в исследование современных тенденций промышленного развития, предлагая научно обоснованные рекомендации по использованию цифровых технологий для повышения конкурентоспособности предприятий.

Основное внимание авторы уделяют применению цифровых двойников в промышленном секторе, однако, ряд концепций и подходов могут быть экстраполированы и адаптированы для образовательной среды.

Отечественные исследования

Цифровым двойникам и преимуществам их использования в промышленности посвящено множество исследований.

Процесс внедрения в российскую промышленность технологий «цифровых двойников» относительно мировых лидеров, основные применяемые стратегии внедрения, преимущества и ограничения их внедрения на промышленных предприятиях рассмотрены в работах [2, 3].

Практическое применение цифровых технологий в АПК, как например использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для мониторинга полей и оценки состояния посевов, разработка автоматизированных систем полива и внесения удобрений на основе данных о состоянии почвы и погодных условий, создание цифровых платформ для управления фермами и координации действий всех участников производственного процесса рассматриваются в работах [4, 5].

Создание цифровых карт рельефа местности и подходы, которые позволят получить карты с повышенным разрешением и более высокой физической адекватностью, что существенно повысит достоверность существующих прогнозирующих моделей, а также эффективность планирования действий территориальных органов МЧС России при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций и стихийных бедствий изучается в работе [6].

Лесковец И. В. реализовал цифровой двойник в виде программного обеспечения, которое позволяет в режиме реального времени определить силы сопротивления копанию в зависимости от параметров грунта, геометрических параметров отвала и действий оператора.

Им предложена цифровая модель рабочего оборудования бульдозера, основанная на теории послойной разработки грунта, позволяющая установить минимальные и максимальные значения сил сопротивления копанию в зависимости от параметров грунта и отвала при наборе призмы волочения.

При автоматизации управления положением рабочего оборудования бульдозера основной задачей цифрового двойника является выбор такого положения рабочего оборудования, при котором обеспечивается максимальная производительность, минимальные значения сил сопротивления копанию и поддержание такой толщины стружки, которая будет восполнять формирующие боковые валики грунта.

В начале рабочей смены измеряются параметры грунта и вводятся в систему управления рабочим оборудованием бульдозера в качестве исходных значений для работы цифрового двойника [7].

Учеными Омского ГАУ разработан уникальный проект «Цифровой двойник стада». Ими создан виртуальный двойник реального производственного стада на основе интеграции внутриферменных систем контроля животных, производственных процессов и внешних данных в реальном режиме времени.

В рамках проекта осуществляется удаленный сбор и интеграция в единую цифровую платформу информации по каждому животному и технологическим процессам с датчиков всех подключенных устройств на ферме. Проект имеет две грани. С одной стороны, это научно-технологический проект, суть которого заключается в «сборке» пакета технологий для создания цифровой копии живого объекта.



С другой стороны, это образовательный проект, заключающийся во внедрении технологии обучения через действие на виртуальной копии реального объекта в реальном режиме времени (обновление состояния объекта каждые 20 минут) [8].

Алиевым Р.А. рассмотрены вопросы применения отечественной цифровой платформы, её возможностей в управлении цифровыми двойниками, а также дана оценка значимости цифровых двойников для современного автомобилестроения на практическом примере разработки цифрового двойника на базе отечественной цифровой платформы [9].

Подобный вопрос, но касательно российского железнодорожного транспорта, рассматривается в [10]. Статья [11] рассматривает концепцию цифровых двойников атомных электростанций (АЭС) и тепловых электростанций (ТЭС) как важный элемент цифровых агломераций в рамках энергетической суперсистемы. Обращается внимание на возрастающую роль информационных технологий в управлении энергосистемами, подчеркивая необходимость построения интегрированных цифровых платформ для эффективного анализа данных и принятия оперативных решений. Основной идеей является создание виртуальных копий реальных объектов энергетики, что позволит проводить детальное моделирование процессов, выявлять слабые места и повышать надежность работы станций. Описывается структура цифровых двойников, включающая датчики, программное обеспечение и аналитические инструменты, обеспечивающие сбор и обработку больших объемов данных. Приводятся примеры внедрения подобных решений на отечественных станциях.

Цифровизация энергетики и применение двойников для цифровых подстанций (ЦПС) на примере силовых трансформаторов также вызывают неподдельный интерес [12]. Авторы рассматривают преимущества и особенности использования цифровых моделей для мониторинга состояния оборудования, диагностики неисправностей и повышения надежности функционирования энергетических систем.

Цифровой двойник представляет собой точную виртуальную копию реальной системы, позволяющую отслеживать изменения, анализировать работу оборудования и прогнозировать возможные сбои. Благодаря этому значительно сокращаются затраты на обслуживание и ремонт, повышается безопасность эксплуатации и эффективность управления ресурсами.

Приводятся примеры успешного внедрения цифровых двойников на предприятиях электроэнергетики, демонстрируя практическое значение предложенного подхода. Они отмечают, что данная технология становится особенно актуальной в условиях перехода к умным сетям и увеличению доли возобновляемых источников энергии, требующих гибкого и оперативного реагирования на изменения нагрузки.

Цифровизация туристической отрасли на примере туризма в Арктической зоне РФ и создание цифровых двойников территорий стало новым трендом [13].

Подчеркивается важность инноваций для решения ключевых проблем отрасли труднодоступности регионов, экстремального климата и нехватки необходимой инфраструктуры. Одним из основных инструментов автор называет использование виртуальных туров, которые позволяют будущим туристам предварительно знакомиться с объектами и культурой Арктики, снижая риск неприятных сюрпризов и увеличивая привлекательность направления. Другое перспективное направление - внедрение концепции цифрового двойника, представляющего собой точную цифровую копию природных и культурных достопримечательностей.

Этот инструмент полезен для проектирования маршрутов, оптимизации инфраструктуры и снижения негативного воздействия на окружающую среду. Автор приходит к выводу, что дальнейшее изучение и применение цифровых технологий способно существенно повысить конкурентоспособность российского арктического туризма, обеспечить рост посещаемости и создать благоприятные условия для устойчивого развития региона. Однако отмечается необходимость тщательной оценки экономических последствий, учета вопросов экологии и разработки эффективных механизмов реализации предлагаемых инициатив.

Применение цифровых двойников в инженерном образовании

Внедрение цифровых двойников в образовательные программы высшего образования открывает широкие возможности для подготовки специалистов нового поколения, обладающих компетенциями, необходимыми для успешной профессиональной деятельности в условиях быстро меняющегося технологического ландшафта.

Так, например, С. В. Иваняков в своей статье [14] рассмотрел типы цифровых двойников (цифровой двойник продукта, цифровой двойник процесса, цифровой двойник системы) и подробно описал преимущества их использования вместо лабораторных стендов в процессе обучения студентов по направлению 15.03.02-Технологические машины и оборудование.

Поливанов В. В. [15] применил цифровой двойник при реализации образовательного процесса по метрологии.

На кафедре инжиниринга технологического оборудования ФГБОУ ВО «КГТУ» началось обучение студентов на цифровых двойниках IT-концерна R-Про. Суммируя наш небольшой опыт внедрения данной технологии в процесс подготовки инженеров, мы можем сформулировать несколько выводов и рекомендаций:

- стало удобно использовать case-study подходы: преподаватели предлагают студентам решение практических задач с использованием виртуальных моделей конкретных технологических процессов или оборудования;

- студенты инженерных специальностей смогли изучать работу сложных механизмов, управляя их цифровыми аналогами, что повысило вовлеченность обучающихся и способствовало лучшему усвоению материала;

- закрылась потребность в организации симуляционных сессий, позволяющих студентам исследовать реальные производственные процессы и выявлять потенциальные узкие места;

- внедрение нового инструментария простимулировало исследовательскую активность как студентов, так и преподавателей, начали подаваться заявки на гранты для разработок цифровых двойников отдельных элементов производственных процессов;

- использование принципов геймификации и интерактивных форматов занятий позволило повысить мотивацию обучающихся и развить критическое мышление;

- студенты получили возможность практиковаться в работе с виртуальными прототипами оборудования и технологий, что по прогнозам должно существенно снизить риски ошибок и повысить безопасность производственных процессов;

- вместо традиционных тестов и экзаменов текущая и промежуточные аттестации проводились на основе виртуальных моделей, которые оценивали не только знания, но и способность применять их на практике, что позволило выявить реальные компетенции студента;

- повысилось количество участия в научных конференциях и публикаций результатов собственных исследований;

- расширились партнерские отношения между вузом и региональными предприятиями реального сектора экономики, направленные на создание прототипов оборудования;

- необходимо формировать междисциплинарные курсы, так как работа с цифровыми двойниками развивает важные профессиональные навыки - умение работать с большими объемами данных, способность применять современные информационные технологии, понимание роли математики и статистики в анализе данных, знание алгоритмов моделирования и предиктивной аналитики;

- необходимо создавать специализированные учебные лаборатории, оснащенные современным оборудованием и программным обеспечением для разработки собственных цифровых двойников;

- необходимо обучение и регулярные повышения квалификации преподавательского состава по цифровым компетенциям, программированию, машиностроению, робототехнике, автоматизации производств, новым инструментам моделирования и аналитическим методам, необходимым для эффективного использования цифровых двойников.

Проектное обучение является одним из эффективных способов формирования профессиональных компетенций у студентов, поскольку оно ориентировано на практическое освоение материала и приобретение опыта работы над действительными проектами.

Цифровой двойник позволяет создать точную виртуальную копию реального физического объекта или процесса, обеспечивая подлинное представление производственных условий и технических характеристик изучаемого объекта или процесса. Это помогает студентам лучше понимать особенности конкретного оборудования или производственной линии, учиться анализировать возможные сценарии функционирования и предсказывать последствия изменений.



Работа с цифровыми двойниками подразумевает возможность экспериментировать с различными параметрами модели, имитируя изменения внешних факторов или условия эксплуатации. Студенты могут проводить различные эксперименты, проверять гипотезы и получать обратную связь немедленно, что значительно ускоряет процесс освоения материалов и повышает вовлеченность.

Проведение экспериментов непосредственно на рабочих объектах сопряжено с рисками повреждения оборудования, потери ресурсов и даже травм персонала. Использование цифровых двойников позволяет избежать таких рисков, предоставляя безопасный способ отработки сценариев аварий, сбоев или нестандартных ситуаций.

Традиционные методы обучения часто требуют значительных временных и материальных вложений для подготовки лабораторных классов и приобретения необходимого оборудования. Не смотря на свою существенную стоимость, цифровые двойники позволяют сократить расходы, давая доступ ко множеству моделей и вариаций одновременно, снижая при этом потребность в дорогостоящем оборудовании.

Современные предприятия активно внедряют технологию цифровых двойников для оптимизации своей деятельности. Подготовка студентов к эффективному взаимодействию с такими технологиями делает их более востребованными специалистами на рынке труда.

Порядок работы может быть следующим:

1. Определение проблемы или выдача задания, которое студенты будут решать в процессе проектной работы (например, разработка оптимальной стратегии технического обслуживания оборудования или улучшение конструкции продукта).
2. Создание цифровой копии исследуемого объекта или процесса (не забыть принципы выбора метрик и переменных, влияющих на точность модели).
3. Экспериментальная работа - студенты проводят эксперименты с моделью, варьируя разные входные параметры и наблюдая влияние на производительность или качество.
4. Обработка данных, принятие решений, выработка рекомендаций по улучшению реальной системы.
5. По итогам выполненного проекта студенты представляют отчет, содержащий детальное описание проведенного исследования, сделанные выводы и предложенные мероприятия по совершенствованию производства.

Таким образом, включение цифровых двойников в обучение существенно расширяет горизонты образовательной практики, повышая качество подготовки будущих инженеров и управленцев, формируя у них необходимые знания и умения для успешного старта карьеры в современном индустриальном секторе. Использование цифровых двойников в обучении будущих инженеров и техников помогает подготовить квалифицированных работников, способных в будущем эффективно решать сложные технико-технологические задачи.

Заключение

Таким образом, систематизация и анализ представленного в работе опыта свидетельствует о том, что цифровые двойники представляют собой мощный инструмент для повышения производительности и качества продукции в современной экономике. Благодаря своей гибкости и универсальности, они становятся неотъемлемой частью стратегий компаний, стремящихся к инновационному развитию. Дальнейшее развитие инфраструктуры Интернета вещей, вычислительных мощностей и аналитики позволит значительно расширить область применения цифровых двойников и повысить их влияние на экономику и общество.

Обзор существующих разработок подтверждает, что концепция цифровых двойников обладает огромным потенциалом для преобразования различных отраслей промышленности. Тем не менее, несмотря на достигнутые успехи, существует ряд серьезных препятствий для массового внедрения цифровых двойников. Среди них выделяются высокие издержки, сложность интеграции данных, проблемы масштабируемости и риски, связанные с нарушением конфиденциальности.

Список источников

1. Цифровые двойники в высокотехнологической промышленности : монография / под ред. А. И. Боровкова. – Санкт-Петербург : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. – 492 с.
2. Меньшаева, А. А. Развитие цифровых двойников в российской промышленности // Молодой ученый. – 2021. – № 11(353). – С. 25–27.
3. Кириллов, Д. С. Цифровые двойники как основа цифровой трансформации промышленных предприятий / Д. С. Кириллов, Т. А. Барчукова // Актуальные вопросы экономики и управления, Смоленск, 21–22 октября 2021 года. – Смоленск : Маджента, 2021. – С. 161–164.
4. Абрамов, В. И. Цифровые двойники с использованием агродронов в управлении растениеводством: особенности создания и перспективы / В. И. Абрамов, В. В. Гордеев, А. Д. Столяров // АПК: экономика, управление. – 2024. – № 4. – С. 37–49. – DOI:10.33305/244-37.
5. Абрамов, В. И. Цифровые двойники с использованием агродронов в управлении растениеводством: особенности создания и перспективы / В. И. Абрамов, В. В. Гордеев, А. Д. Столяров // АПК: экономика, управление. – 2024. – № 4. – С. 37–49. – DOI:10.33305/244-37.
6. О подходе к повышению точности цифровых двойников рельефа местности на основе анализа цифровых пространственных геоданных / А. Ю. Сорокин, Е. В. Иванов, А. А. Безвесильная, А. А. Клишкин // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2022. – № 1(52). – С. 50–61.
7. Лесковец, И. В. Цифровой двойник рабочего оборудования бульдозера / И. В. Лесковец // Global Journal of Researches in Engineering. – 2020. – Vol. 20. – № 4-J. – Р. 3.
8. Помогаев, Н. Д. Использование технологии цифровых двойников в образовательном процессе: на примере цифрового двойника стада / Н. Д. Помогаев, В. М. Скосырева // Высшее образование для XXI века: Цифровая трансформация общества: новые возможности и новые вызовы : доклады и материалы XVI Международной научной конференции: в 2 ч. (онлайн-формат), Москва, 18–19 ноября 2020 года. – Том Часть I. – Москва : Московский гуманитарный университет, 2020. – С. 516–519.
9. Алиев, Р. А. Использование цифровой платформы для создания и интеграции цифрового двойника в автомобилестроении / Р. А. Алиев // Самоуправление. – 2025. – № 1(144). – С. 7–11.
10. Цифровые инновации и цифровые двойники в АПК / В. И. Абрамов, О. В. Абрамов, В. В. Гордеев, А. Д. Столяров // Проблемы и основные направления повышения эффективности функционирования АПК региона в условиях глобализации и импортозамещения : монография. – Пенза : Пензенский государственный аграрный университет, 2025. – С. 3–33.
11. Грабчак, Е. П. «Цифровые двойники» АЭС и ТЭС как элементы цифровых агломераций в энергетической суперсистеме / Е. П. Грабчак, Е. Л. Логинов // Современные проблемы электроэнергетики и пути их решения : материалы V Всероссийской научно-технической конференции, Махачкала, 25–26 декабря 2019 года. – Махачкала : Информационно-Полиграфический Центр ДГТУ, 2019. – С. 155–159.
12. Савина, Н. В. Применение технологии цифровых двойников на цифровых подстанциях / Н. В. Савина, Д. С. Покровский // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки. – 2023. – № 101. – С. 83–87. – DOI:10.22250/20730268_2023_101_83.
13. Никифорова, С. А. Внедрение цифровых двойников на железнодорожном транспорте / Актуальные проблемы транспортной отрасли в России и за рубежом. Urgent Problems of Transport Industry in Russia and Abroad : материалы VI Всероссийской с международным участием студенческой научно-практической конференции на иностранных языках (Новосибирск, 16 ноября 2024 г.) / Сибирский государственный университет путей сообщения. – Новосибирск : Издательство СГУПС, 2025. – Р. 190–196.
14. Иваняков, С. В. Применение цифровых двойников при обучении бакалавров по направлению технологические машины и оборудование профильное оборудование нефтегазопереработки // Инновационные научные исследования. – 2022. – № 6-2(20). – С. 127–133. – URL: <https://ip-journal.ru/> (дата обращения: 07.08.2025).
15. Поливанов, В. В. Применение концепции цифрового двойника при создании виртуальных лабораторных работ по курсу «Цифровые измерительные приборы» / В. В. Поливанов // Современное образование: содержание, технологии, качество. – 2024. – Т. 1. – С. 302–304.

Информация об авторах

Н. А. Фролова – доктор технических наук, профессор;
В. А. Мельникова – кандидат технических наук, доцент.

Статья поступила в редакцию 09.10.2025; одобрена после рецензирования 10.11.2025; принята к публикации 17.11.2025.