

УДК 338

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ НА БАЗЕ ИИ КАК ОДИН ИЗ ФАКТОРОВ ПОВЫШЕНИЯ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

С.О. Минеева

Московской городской университет управления Правительства Москвы им. Ю.М. Лужкова, Москва,
email: lana.mineeva@yandex.ru

Аннотация. Цель исследования заключается в анализе повышения кадрового потенциала в атомной энергетике посредством интеграции цифровых двойников на основе ИИ и стратегии баланса между инновационными технологиями и человекоцентричными обучающими программами переподготовки персонала атомных станций. Предлагаемый междисциплинарный подход и такие методы исследования, как сравнительно-исторический анализ, диалектика, обобщение, систематизация и научная абстракция, позволяют выявить закономерности внедрения и развития технологии, а также оценить ее влияние на кадровую политику. Исследование опирается на опыт пилотных проектов Нововоронежской атомной станции имени В.А. Сидоренко (филиала АО «Концерн Росэнергоатом», входящего в дивизион «Электроэнергетический» Государственной корпорации «Росатом»), где внедрены цифровая 3D-модель энергоблока №6, система предиктивной аналитики для энергоблоков с реакторами ВВЭР-1200 и системы информационной поддержки операторов. Результаты исследования подтверждают экономическую эффективность применения технологии (снижение затрат на эксплуатацию), повышение производительности труда персонала за счет обучающих программ, адаптивность и устойчивость отрасли в условиях цифровизации. Материалы исследования будут полезны топ-менеджерам и кадровым службам для решения проблемы навыкового разрыва.

Ключевые слова: цифровые двойники, цифровая модель АЭС, система информационной поддержки операторов, безопасность, кадровый потенциал, цифровизация.

THE APPLICATION OF AI-BASED DIGITAL TWINS AS ONE OF THE FACTORS IN ENHANCING HUMAN CAPITAL POTENTIAL IN NUCLEAR ENERGY

S.O. Mineeva

Moscow City University of Management of the Moscow Government named after Yu.M. Luzhkov, Moscow,
email: lana.mineeva@yandex.ru

Abstract. The purpose of the research is to analyze the enhancement of staff potential in the nuclear energy industry through the integration of AI-based digital twins and a strategy balancing innovative technologies with human-centered training programs for retraining nuclear power plant personnel. The proposed interdisciplinary approach, employing methods such as comparative historical analysis, dialectics, generalization, systematization, and scientific abstraction, enables the identification of patterns in technology implementation and development, as well as the assessment of its impact on personnel policy. The research is based on the experience of pilot projects at the Novovoronezh Nuclear Power Plant named after V.A. Sidorenko (a branch of AO "Concern Rosenergoatom", part of the Electric Power Division of State Corporation "Rosatom"), where implemented are a digital 3D model of Power Unit No. 6, predictive analytics systems for VVER-1200 reactor units, and operator support information systems. The study results confirm the economic efficiency of implementing the technology (reduction in operating costs), increased labor productivity through training programs, and the adaptability and resilience of the industry in the context of digitalization. The research materials will be useful for top managers and HR departments in addressing the skills gap.

Keywords: digital twins, digital model of a nuclear power plant, operator decision support system, safety, workforce potential, digitalization.

Дата поступления статьи в редакцию: 25.11.2025

Дата принятия статьи в печать: 25.12.2025

Введение

Экспоненциальный прогресс в технологиях искусственного интеллекта (ИИ), обусловленный алгоритмическими инновациями и ростом вычислительных мощностей, стремительно трансформирует моделирование систем в атомной энергетике. Цифровые двойники объектов и процессов атомных электростанций и системы информационной поддержки операторов (СИПО) позволяют минимизировать риски

нештатных ситуаций, повышая безопасность, и снизить эксплуатационные затраты. Симуляционные модели сочетают в себе данные об объектах с алгоритмами машинного обучения, в результате это дает возможность спрогнозировать «поведение» систем и оптимизировать процессы эксплуатации.

Однако на современном этапе технологического прогресса человек не только управляет сложными системами, но и непрерывно адаптируется к развитию ИИ-технологий, так как темпы совершенствования последних на основе больших данных и методов моделирования высоки. К примеру, в сферах промышленности и муниципального управления специалисты сталкиваются с навыковым разрывом, вызванным отставанием профессиональной подготовки от темпов технологических инноваций.

В связи с этим представляется актуальным исследование опыта внедрения цифровых двойников и дублеров оперативного персонала Нововоронежской АЭС имени В.А. Сидоренко (филиал АО «Концерн Росэнергоатом», входит в дивизион «Электроэнергетический» ГК «Росатом»), на которой на текущий момент реализован запуск пилотных проектов цифровой 3D-модели энергоблока №6, системы предиктивной аналитики для энергоблоков с реакторами ВВЭР-1200 и системы информационной поддержки операторов (СИПО).

Цель исследования

В данном исследовании будет предложен анализ модели внедрения цифровых двойников на базе искусственного интеллекта для повышения кадрового потенциала и преодоления навыкового разрыва в атомной энергетике. Опираясь на опыт создания пилотных проектов Нововоронежской АЭС, данная работа позволит выявить ключевые механизмы интеграции ИИ-технологий в подготовку персонала станции. Изучение аспектов минимизации эксплуатационных рисков и оптимизации программ подготовки сотрудников станции позволит сформулировать рекомендации по масштабированию подобных решений в российской атомной промышленности.

Методы исследования

В методологии исследования применен междисциплинарный подход, объединяющий общенаучные методы, такие как сравнительно-исторический анализ, диалектический подход, обобщение, систематизация и научная абстракция. Эти методы позволяют выявить закономерности эволюции ИИ-технологий и цифровых двойников в атомной энергетике, а также оценить их влияние на кадровый потенциал. Например, диалектика раскрывает противоречия между технологическим прогрессом и навыковым разрывом, а обобщение и систематизация классифицируют решения по минимизации рисков и снижению затрат. Метод научной абстракции способствует формированию абстрактных моделей интеграции ИИ, таких как предиктивная аналитика и системы информационной поддержки операторов (СИПО), благодаря которым стало возможным прогнозирование поведения систем. Исследование опыта Государственной корпорации «Росатом» (ГК «Росатом») позволяет применить сравнительный анализ данных в рамках междисциплинарного подхода, а значит выявить лучшие практики и разработать рекомендации для масштабирования технологии.

Результаты исследования

Впервые в мире именно Россия ввела национальный стандарт ГОСТ Р 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения» [2]. Данный документ регламентирует требования к разработке и применению технологии в промышленности. В нем вводится понятие «цифрового двойника изделия» как комплексной системы, состоящей из цифровой модели объекта и установленных информационных связей между ним и его компонентами [1].

Высокоточные виртуальные копии физических объектов осуществляют сбор данных в режиме реального времени посредством датчиков для непрерывного мониторинга ключевых параметров. Алгоритмы искусственного интеллекта позволяют проводить детальный анализ и прогнозировать потенциальные сбои в функционировании систем и оборудования. Компьютерные симуляции используют для моделирования сценариев эксплуатации и оптимизации процессов. Синхронизация физических объектов с виртуальными копиями обладает первостепенным значением для атомной отрасли, поскольку для нее приоритеты – надежность и безопасность объектов.

Решая задачи глобальной конкурентоспособности, ГК «Росатом» в 2009 году начала работу по созданию цифровой модели АЭС, а именно – виртуальных копий атомной станции, или цифровых двойников. На основе технического задания был создан проект «Разработка программно-технического комплекса «Виртуальная АЭС с ВВЭР», прототипом которого стал строящийся в тот период шестой блок

Нововоронежской атомной электростанции. Водо-водяной энергетический реактор-1200 (ВВЭР-1200) представляет собой первый в мире энергоблок поколения III+. Среди его преимуществ – повышение срока службы корпуса реактора и парогенераторов с 30 до 60 лет с возможностью продления, увеличение электрической мощности реактора на 20% и усиление систем безопасности [6].

Цифровая 3D-модель энергоблока №6, а также система предиктивной аналитики для энергоблоков (ВВЭР-1200) были созданы атомной станцией совместно с Объединенным проектным институтом АО «Атомэнергопроект». Сформированная база данных содержит детализированные описания характеристик и свойств объекта, охватывая весь его жизненный цикл – от этапа проектирования до стадии эксплуатации, включая отказы и дефекты при их наличии. Реляционные связи между элементами модели обеспечивают оптимизацию процессов поиска и извлечения релевантной информации [4].

Как признанный цифровой лидер отрасли Нововоронежская АЭС апробирует новые технологии и в плане улучшения политики кадрового потенциала. За счет того, что цифровые двойники интегрировали с технологиями ИИ, мониторинг состояния оборудования АЭС осуществляют в режиме реального времени. Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций принимает онлайн-данные. Поэтому сотрудники станции, основываясь, например, на показателях о вибрации или температуре, могут своевременно оценить параметры износа оборудования. Использование принципов инженерии, алгоритмов машинного обучения и обмена данными систем указывает на междисциплинарный характер применения цифровых двойников.

На компетенции специалистов, работающих над формированием обоснованной тарифной политики, внедрение технологии также оказывает влияние. В этой связи уместно назвать эмпирические показатели себестоимости генерации электроэнергии. Поскольку технология воздействует и на процессы оптимального распределения ресурсов и определения себестоимости электроэнергии [4].

Пилотный проект по созданию информационной системы поддержки оператора (СИПО) удалось запустить в 2018 году на энергоблоке №6, при содействии АО «Русатом Автоматизированные системы управления» и ООО «ИФ СНИИП АТОМ». Базовым компонентом для разработок стало российское программное обеспечение. Инновационная система расширяет возможности сотрудников АЭС, позволяя им минимизировать риск ошибок при выполнении обязанностей. У операторов энергоблока при принятии решений теперь есть возможность опираться на информацию о сигналах об изменениях параметров.

В ходе испытаний персонал проходил подготовку на тренажере-симуляторе блочного пункта управления. Еще во время испытаний операторы оценили преимущества взаимодействия с СИПО. (табл. 1). Важно отметить, что при обеспечении технологических процессов система не замещает специалистов алгоритмами ИИ, а позволяет усовершенствовать и расширить компетенции персонала атомной электростанции.

Таблица 1

Ключевые аспекты подготовки персонала и взаимодействие с СИПО на тренажере-симуляторе блочного пункта управления

Аспект	Описание	Интегрированные элементы	Преимущества	Влияние на компетенции
Среда симуляции	Подготовка на тренажере-симуляторе БПУ	~360 технологических подсистем, 19 модулей, ~157 операционных процедур	Иммерсивные сценарии без рисков	Улучшение практического опыта
Взаимодействие с СИПО	Автоматизация задач через систему интегрированного ПО	Задачи: руководство, визуализация, поддержка	Эффективность, снижение нагрузки, ускорение	Расширение навыков (не замена)
Фокус на компетенциях	Развитие в управлении процессами	Системный подход	Сохранение экспертизы с ИИ-поддержкой	Непрерывный рост и адаптация

Тем не менее, при работе с СИПО следует всесторонне оценивать не только потенциал, но и ограничения человеческого фактора, поскольку операторы могут делать ошибки. На это влияют высокие когнитивные нагрузки или вариации психоэмоциональных параметров человека – все это может быть следствием реакции на нештатные ситуации. Поэтому эксперты приходят к выводу, что использовать СИПО необходимо во всех режимах эксплуатации [5].

В контексте внедрения технологии имеют место и экзистенциальные вопросы, рассматривающие потенциальную утрату значимости труда людей и нарастающую угрозу зависимости от технологических ресурсов [3]. И здесь следует обратить внимание на стратегии ГК «Росатом».

С 2016 года госкорпорация проводит ежегодный чемпионат профессионального мастерства AtomSkills по стандартам WorldSkills. В профессиональных соревнованиях участвуют как специалисты, так и ветераны атомпрома, школьники и студенты. «Росатом» сформировал, таким образом, единую систему подготовки и совершенствования компетенций специалистов. AtomSkills включает такие актуальные компетенции чемпионата, как «Машинное обучение и большие данные», «Цифровое ПСР предприятие», «Информационная безопасность (кибербезопасность)» и многие другие.

В качестве примера еще одного масштабного проекта госкорпорации назовем формирование долгосрочной стратегии развития «Видение-2045», операторами проекта выступают «Корпоративная академия «Росатома» и Департамент стратегического управления ГК «Росатом». В течение 2024 года были организованы вебинары, опросы и стратегические сессии, позволившие отобрать лучшие предложения от представителей предприятий госкорпорации и отраслевых сообществ. Всего удалось собрать почти восемь тысяч идей от 23 784 человек [7].

Модифицированный проект учитывает отраслевую Стратегию-2050, опирающуюся на рекомендации Правительства РФ и на анализ глобальных мегатрендов и макроэкономических факторов. В дополнение к этому, концепция Стратегии научно-технического развития ГК «Росатом» также была интегрирована в «Видение-2045», обеспечивая синергию между технологическими инновациями, инициативами и долгосрочным развитием атомной промышленности [8].

«Росатом» реализует комплексный подход к повышению кадрового потенциала сотрудников, ориентированный на заблаговременную долгосрочную подготовку к внедрению инноваций в атомной промышленности, начиная обучение и развитие компетенций за десятилетия до ввода новых технологий в эксплуатацию (табл. 2).

Таблица 2

Компоненты стратегического подхода к повышению кадрового потенциала в «Росатоме»

Компонент стратегического подхода	Описание	Цели и эффекты
Интеграция образовательных программ	Разработка и внедрение актуальных курсов и сертификаций, ориентированных на инновационные технологии атомной промышленности	Минимизировать и устранить навыковой разрыв между текущими и будущими компетенциями сотрудников, учитывая развитие технологий
Симуляционные тренировки	Использование виртуальных и физических симуляторов для работы с новым оборудованием и системами	Обеспечить устойчивость операционных процессов за счет повышения компетентности персонала
Цифровые платформы	Создание виртуальных моделей реальных систем для тестирования и обучения	Формирование устойчивости операционных процессов через предиктивный анализ и оптимизацию

Среди направлений и целевых ориентиров «Видения-2045» – «Человек в каждом решении: благодаря человеку и для человека». Госкорпорация фокусируется на достижении статуса «Топ-3 в категории «Лучший работодатель» и индексах потребительской лояльности и чистой лояльности сотрудников [7]. Очевидно, что такой вектор развития мотивирует персонал к повышению квалификации и преодолению новых технологических вызовов, что обеспечивает конкурентоспособность «Росатома» на глобальном рынке.

Выводы

На основе проведенного анализа внедрения цифровых двойников на базе ИИ, в частности опыта Нововоронежской АЭС, можно сформулировать следующие ключевые выводы, подчеркивающие важность повышения кадрового потенциала при использовании технологических инноваций для устойчивого развития атомной промышленности:

1. Экономическая эффективность внедрения цифровых двойников и СИПО: Цифровые двойники, интегрированные с ИИ-технологиями, за счет опережающего выявления дефектов оборудования сокращают время простоя энергоблоков из-за аварийных или неплановых остановов и снижают затраты АЭС на эксплуатацию. Внедрение систем поддержки операторов на основе ИИ способствует оптимизации эксплуатационных расходов, увеличению прибыли и разработке справедливой тарифной политики. Персонал АЭС освобождает от решения рутинных задач, что позволяет повышать общую производительность.

2. Переобучение и развитие компетенций в эпоху цифровизации: Сотрудникам необходимо постоянно адаптироваться к новым технологиям, чтобы минимизировать риски и повышать эффективность эксплуатации оборудования.

3. Эталонный опыт ГК «Росатом» в повышении кадрового потенциала: Модель поддержки сотрудников ГК «Росатом», включающая программы переподготовки и адаптации к цифровым вызовам, служит эталоном для отрасли. Внедрение программ заблаговременного обучения сотрудников можно масштабировать на другие сферы, устраняя навыковый разрыв.

4. Минимизация рисков и обеспечение долгосрочной устойчивости: Цифровая трансформация сокращает технологические риски и обеспечивает устойчивость атомной отрасли. ГК «Росатом» удается соблюдать баланс между технологическими инновациями и человекоцентричными стратегиями обучения, основанными на рекомендациях МАГАТЭ и российских регламентирующих документах.

Литература

1. Национальный стандарт РФ – ГОСТ Р 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения». [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200180928?ysclid=mh9sij2tf1624617563> (дата обращения: 26.11.2025).

2. Абрамов В.И., Гордеев В.В., Столяров А.Д. Цифровые двойники: характеристики, типология, практики развития // Вопросы инновационной экономики. 2024, Т. 14, № 3. С. 691-716.

3. Акжигитов В.В., Санталова М.С., Сергеева С.А., Гладиллина И.П., Соклакова И.В. Экономические аспекты проблематики использования искусственного интеллекта вместо трудовых ресурсов // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2024. Т. 14, № 5А. С. 15-22.

4. Смородинов Е.В., Букреев А.М., Поваров В.П., Нетяга Н.Н. Цифровая модель АЭС как метод снижения себестоимости электрической энергии // Актуальные проблемы развития хозяйствующих субъектов, территорий и систем регионального и муниципального управления. Материалы XVI международной научно-практической конференции (Воронеж, 22 апреля 2021 г.). Воронеж: Издательство Истоки, 2021. №1. С. 81-92.

5. Ушков М.Е., Бурковский В.Л. Структура информационной системы поддержки принятия решений оператором АЭС // Информатика, вычислительная техника и управление. 2021. Т. 17. № 6. С. 8-11. DOI: 10.36622/VSTU.2021.17.6.001.

6. «Росэнергоатом. Станции и проекты. Нововоронежская АЭС». [Электронный ресурс]. URL: https://www.rosenergoatom.ru/stations_projects/sayt-novovoronezhskoy-aes/ (дата обращения: 23.11.2025).

7. Плаксина Я. Сформировать вдохновляющий образ будущего: как идет работа по «Видению-2045» // Страна Росатом. [Электронный ресурс]. URL: <https://strana-rosatom.ru/2025/04/08/sformirovat-vдохновlyajushhij-obraz-bu/?ysclid=mjli46c997786833352> (дата обращения: 23.11.2025).

8. В «Росатоме» завершилась обработка предложений для «Видения-2045» // Корпоративная академия «Росатома». [Электронный ресурс]. URL: <https://rosatom-academy.ru/media/novosti/v-rosatome-zavershilas-obrabotka-predlozheniy-dlya-videniya-2045-/?ysclid=mjliz6bkum742523509> (дата обращения: 23.11.2025).