

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 338.3

JEL L60

DOI 10.26425/2658-3445-2026-9-1-20-36

УПРАВЛЕНИЕ КАДРОВЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ ПРЕДПРИЯТИЙ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ



Ссылка на статью

Моттаева Асият Бахауовна

Канд. экон. наук, доц. каф. общего и проектного менеджмента

ORCID: 0009-0005-1582-6184

E-mail: asenka2574@gmail.com

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация.

АННОТАЦИЯ

В условиях развития Индустрии 4.0 атомная отрасль сталкивается с необходимостью переосмысления структуры занятости и обновления профессиональных компетенций специалистов. Актуальность темы исследования обусловлена тем, что цифровая трансформация атомной отрасли выступает не только технологическим, но и социально-экономическим процессом, оказывающим прямое влияние на структуру занятости, содержание труда и профессиональную идентичность работников. Цель настоящего исследования заключается в научном обосновании концептуальных подходов к управлению трансформацией занятости и формированию новых компетенций специалистов атомной отрасли в условиях цифровой модернизации. Для достижения поставленной цели решены следующие задачи.

Проанализированы современные тенденции цифрового развития атомной отрасли и их влияние на структуру занятости и содержание труда персонала. Выявлены изменения профессиональных ролей и требований к квалификации специалистов атомных предприятий в условиях цифровизации. Определена совокупность ключевых профессиональных компетенций, обеспечивающих экономическую и управленческую эффективность деятельности работников в цифровой производственной среде.

Разработана концептуальная модель трансформации занятости и компетенций атомных специалистов, отражающая новые формы организации труда и траектории профессионального развития персонала. Сформулированы практические рекомендации по совершенствованию кадровой политики, системы профессионального образования и механизмов непрерывного обучения на предприятиях атомной отрасли. На основе системного и институционального подходов разработана концептуальная модель трансформации занятости атомных специалистов, отражающая новые формы организации труда, требования к цифровым и управленческим компетенциям, а также траектории профессионального развития персонала.

Обосновано, что цифровая трансформация способствует повышению качества занятости и усилению роли компетенций, связанных с аналитикой, проектным управлением и обеспечением безопасности. Практическая значимость исследования заключается в возможности использования полученных результатов при формировании стратегий управления кадровым потенциалом, разработке программ профессионального образования и систем непрерывного обучения на предприятиях атомной отрасли.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Кадровый потенциал, атомная отрасль, цифровая трансформация, Индустрия 4.0, занятость, профессиональные компетенции, управление персоналом, цифровые навыки, непрерывное обучение



ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ

24.10.2025



ДОРАБОТАНА

19.12.2025



ПРИНЯТА К ПУБЛИКАЦИИ

26.12.2025



КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов



ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено без спонсорской поддержки



ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ



Моттаева А.Б. Управление кадровым потенциалом предприятий атомной отрасли в условиях цифровой трансформации // E-Management. 2026. Т. 9, № 1. С. 20–36



Статья доступна по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

© Моттаева А.Б., 2026.

SCIENTIFIC ARTICLE

HUMAN RESOURCE MANAGEMENT OF NUCLEAR INDUSTRY ENTERPRISES IN THE CONTEXT OF DIGITAL TRANSFORMATION



Link to the article

Asiyat B. Mottaeva

Cand. Sci. (Econ.), Assoc. Prof. at the General and Project Management Department

ORCID: 0009-0005-1582-6184

E-mail: asenka2574@gmail.com

Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

In the context of the development of Industry 4.0, the nuclear industry is faced with the need to rethink the employment structure and update the professional competencies of specialists. The relevance of the research topic is due to the fact that digital transformation of the nuclear industry is not only a technological, but also a socio-economic process that has a direct impact on the employment structure, the labor content, and employees' professional identity. The purpose of the study is to scientifically substantiate conceptual approaches to managing employment transformation and formation of new competencies of nuclear industry specialists in the context of digital modernization. To achieve it, the following tasks have been solved.

The current trends in digital development of the nuclear industry and their impact on the employment structure and staff labor content have been analyzed. Changes in professional roles and qualification requirements for nuclear industry specialists in the context of digitalization have been identified. A set of key professional competencies has been identified that ensure the economic and managerial effectiveness of employees in a digital production environment.


A conceptual model of transformation of employment and competencies of nuclear specialists has been developed, reflecting new forms of labor organization and trajectories of professional development of personnel. Practical recommendations have been formulated to improve the personnel policy, the professional education system, and the mechanisms of continuous training at nuclear industry enterprises. Based on systemic and institutional approaches, a conceptual model for the transformation of nuclear specialists' employment has been developed, reflecting new forms of labor organization, requirements for digital and managerial competencies, as well as the trajectories of personnel's professional development.

It has been proved that digital transformation contributes to improving the quality of employment and strengthening the role of competencies related to analytics, project management, and security. The practical significance of the research lies in the possibility of using the results obtained when forming human resource management strategies and developing professional education programs and continuous training systems at nuclear industry enterprises.


KEYWORDS


Human resources, nuclear industry, digital transformation, Industry 4.0, employment, professional competencies, personnel management, digital skills, lifelong learning



 **RECEIVED**
24.10.2025

 **REVISED**
19.12.2025

 **ACCEPTED**
26.12.2025

 **CONFLICT OF INTEREST**
The authors declare that there is no conflict of interest

 **FINANCING**
The study was carried out without sponsorship

 **FOR CITATION**
 Mottaeva A.B. (2026) Human resource management of nuclear industry enterprises in the context of digital transformation. E-Management, vol. 9, no. 1, pp. 20–36. DOI: 10.26425/2658-3445-2026-9-1-20-36



This is an open access article under the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

© Mottaeva A.B., 2026.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Цифровая трансформация атомной отрасли приобретает системный характер и охватывает не только технологические процессы, но и структуру занятости, содержание труда и требования к квалификации персонала. Интеграция интеллектуальных систем управления, анализа больших данных, автоматизации и киберфизических технологий формирует новые модели организации производственной деятельности. Для стратегически значимой и высокорискованной отрасли, каковой является атомная энергетика, данные изменения имеют особую специфику: цифровизация осуществляется в условиях повышенных требований к безопасности, надежности и регламентированности процессов, а также при длительном жизненном цикле технологических систем.

Проблематика трансформации занятости и компетенций имеет глубокие теоретические основания. В рамках концепций постиндустриального общества Д. Белл обосновал переход к экономике знаний, где ключевым ресурсом становится профессиональная экспертиза, а структура занятости смещается в сторону интеллектуального труда [Bell, 1973]. Э. Тоффлер и М. Кастельс показали, что информационная революция и формирование сетевого общества радикально изменяют характер занятости, усиливая роль гибких форм труда и цифровых производственных систем [Toffler, 1980; Castells, 2010].

Развитие компетентностного подхода связано с работами Д. МакКлелланда, Р. Бояциса, С.М. Спенсер, Ф. Ле Диста и Дж. Уинтертона, которые обосновали необходимость оценки профессиональной эффективности через поведенческие, функциональные и социальные компоненты компетенций [McClelland, 1973; Boyatzis, 2008; Spencer, 1993; Le Deist, 2005]. Так, Д. МакКлелланд одним из первых обосновал необходимость оценки эффективности труда через поведенческие и профессиональные индикаторы, а не формальные показатели интеллекта [McClelland, 1973]. В дальнейшем данные идеи были развиты в моделях управленческих и профессиональных компетенций, интегрирующих когнитивные, функциональные и социальные компоненты [Boyatzis, 2008].

Современный этап, обозначаемый как Индустрия 4.0, характеризуется интеграцией киберфизических систем, Интернета вещей, искусственного интеллекта и предиктивной аналитики. Работы Х. Кагерманна, К. Шваба и других исследователей подчеркивают, что цифровизация приводит к автоматизации рутинных операций и росту спроса на междисциплинарные компетенции [Kagermann, 2013; Schwab, 2016; Wahlster, 2013]. Концепция фиксирует переход к гибким форматам занятости и необходимости непрерывного обучения [Helbig, 2013]. Однако анализ отечественных и зарубежных исследований выявляет ряд противоречий:

- в ряде работ цифровизация рассматривается преимущественно как фактор сокращения занятости вследствие автоматизации, тогда как эмпирические данные высокотехнологичных отраслей свидетельствуют о качественной реструктуризации занятости, а не о ее снижении;
- большинство исследований носят универсальный характер и не учитывают отраслевую специфику атомной энергетике, где цифровизация происходит при жестких требованиях безопасности и институциональных ограничениях.
- компетентностные модели, разработанные в рамках общих теорий управления персоналом, недостаточно интегрированы с особенностями стратегических отраслей и не учитывают сочетание цифровых, инженерных и «ядерных» компетенций.

Отечественные исследования и стратегические документы государственной корпорации «Росатом» подчеркивают, что цифровая трансформация рассматривается как ключевой фактор повышения эффективности и конкурентоспособности атомного комплекса¹. Европейская инициатива Skills4Nuclear также акцентирует необходимость системного развития человеческого капитала для обеспечения устойчивости ядерного сектора². Вместе с тем интеграция кадровой политики с процессами цифровизации остается недостаточно концептуальной.

Актуальность темы исследования определяется усилением роли междисциплинарных и интеллектуально насыщенных задач в атомной отрасли, требующих интеграции цифровых, инженерных и управленческих компетенций, наличием демографических и квалификационных рисков, обусловленных старением кадрового состава и утратой традиционных профессиональных знаний, а также недостаточной разработанностью отраслевых моделей трансформации занятости и компетенций в условиях перехода к принципам Индустрии 4.0.

¹ Росатом: как формируется кадровая политика отрасли. Режим доступа: https://up-pro.ru/library/personnel_management/workforce_strategy/rosatom-politika (дата обращения: 22.10.2025).

² Skills4Nuclear Project. Deliverable D2.1: Skills Needs for the Nuclear Sector. Режим доступа: <https://cordis.europa.eu/project/id/101213280> (дата обращения: 22.10.2025).

Цель настоящего исследования – разработка концептуальной модели трансформации занятости и профессиональных компетенций работников атомной отрасли в условиях цифровой модернизации.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие основные задачи:

- определить совокупность ключевых профессиональных компетенций, необходимых для эффективной деятельности работников атомной отрасли в цифровой производственной среде;
- разработать концептуальную модель трансформации занятости и компетенций атомных специалистов, отражающую новые формы организации труда и траектории профессионального развития;
- сформулировать практические рекомендации по совершенствованию кадровой политики, системы профессионального образования и механизмов непрерывного обучения на предприятиях атомной отрасли.

Гипотеза исследования состоит в том, что цифровая трансформация в атомной отрасли приводит к качественной реструктуризации занятости, при которой ключевым фактором устойчивости становится развитие интегрированных цифрово-инженерных компетенций и системное управление человеческим капиталом.

Объект исследования – процессы трансформации занятости в атомной отрасли.

Предмет исследования – профессиональные компетенции работников атомной отрасли, формирующиеся в условиях цифровизации производственных и управленческих процессов.

Научная новизна исследования заключается в:

- разработке отраслевой интерпретации трансформации занятости в атомной энергетике с учетом специфики требований к безопасности, надежности и институциональным ограничениям функционирования отрасли;
- формировании концептуальной модели интеграции цифровых, инженерных и управленческих компетенций в профессиональном профиле атомного специалиста;
- обосновании нелинейного характера влияния цифровизации на структуру занятости в стратегических высокотехнологичных секторах;
- систематизации кадровых рисков, возникающих в процессе цифровой трансформации атомной отрасли;
- разработке направлений адаптации кадровой политики и механизмов управления человеческим капиталом предприятий атомной энергетике к условиям Индустрии 4.0.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ / RESEARCH METHODOLOGY

Эмпирическая база исследования сформирована на основе сочетания официальных статистических данных, отраслевых отчетов, экспертных интервью и анкетных опросов специалистов атомных предприятий. В табл. 1 представлены все использованные данные и методы исследования.

Таблица 1. Использованные данные и методы исследования

Table 1. Used data and research methods

Тип данных	Применяемые методы анализа	Цель использования
Статистические данные по занятости и цифровизации	Описательная статистика, сравнительный анализ, динамические ряды	Оценка тенденций занятости и цифровизации в промышленности, выявление общих закономерностей для атомной отрасли
Отраслевые документы и программы цифровой трансформации	Контент-анализ, структурно-функциональный анализ	Выявление направлений цифровизации и приоритетов развития компетенций в отрасли
Международные отчеты и проекты	Сравнительный анализ, бенчмаркинг	Сопоставление международных и российских практик развития компетенций атомных специалистов
Анкетные опросы работников атомных предприятий	Статистическая обработка (Excel, Statistical Package for the Social Sciences – Статистический пакет для социальных наук), корреляционный анализ	Изучение восприятия цифровизации, уровня цифровых навыков и потребностей в обучении
Экспертные интервью с руководителями и специалистами	Качественный анализ, тематическое кодирование, экспертное ранжирование	Определение приоритетных компетенций и факторов, влияющих на трансформацию занятости

Окончание табл. 1

Тип данных	Применяемые методы анализа	Цель использования
Образовательные стандарты и профессиональные профили	Компетентностный анализ, контент-анализ	Идентификация компетенций, необходимых специалистам атомной отрасли в условиях Индустрии 4.0
Научные публикации и аналитические исследования	Систематизация, теоретическое моделирование	Формирование теоретико-методологической базы исследования
Внутренние корпоративные отчеты предприятий	Сравнительный анализ, SWOT-анализ	Определение организационных барьеров и успешных практик адаптации персонала

Составлено автором по материалам исследования / *Compiled by the author on the materials of the study*

Представленные в табл. 1 данные и методы демонстрируют комплексный, междисциплинарный характер исследования. Комбинация статистических, документальных, экспертных и эмпирических источников позволила обеспечить репрезентативность выборки и повысить надежность выводов. Использование статистических показателей Федеральной службы государственной статистики и отраслевых бюллетеней обеспечило количественное измерение динамики занятости и цифровизации^{3,4}. Анализ программных документов государственной корпорации «Росатом» и международных проектов (OECD-NEA, Skills4Nuclear, Международного агентства по атомной энергии (англ. International Atomic Energy Agency) позволил выявить стратегические направления цифровой трансформации и кадровых приоритетов атомной отрасли, а также сопоставить российский и зарубежный опыт формирования компетенций специалистов в условиях Индустрии 4.0^{5,6,7,8}.

Комбинация статистического и экспертно-аналитического анализа обеспечивает триангуляцию данных и позволяет перейти от эмпирических наблюдений к теоретическому моделированию процессов цифровой трансформации занятости в атомной отрасли.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ / STUDY RESULTS

Современная атомная отрасль активно вовлекается в процессы цифровизации, направленные на повышение эффективности, безопасности и устойчивости функционирования. Среди ключевых трендов развития атомной отрасли – внедрение цифровых двойников, применение роботов и автоматизированных систем обслуживания, усиление роли аналитики данных и искусственного интеллекта, интеграция Интернета вещей и переход к цифровой инженерии и конструкционным симуляциям⁹. Эти технологии трансформируют весь жизненный цикл ядерных объектов: проектирование, эксплуатацию, обслуживание, вывод из эксплуатации. В исследовании Х. Вайрагаде с соавторами рассмотрена разработка цифрового двойника для атомных электростанций (далее – АЭС) с возможностью координации работ роботов внутри реакторной зоны и, следовательно, снижением прямого присутствия человека в опасных зонах [Vairagade, 2024]. Проблематика применения робототехники в опасных зонах также поднимается в работе А.А. Бородин [Бородин, 2024].

В работе К. Мондала определена роль аддитивного производства и цифровых двойников в ядерной энергетике как движущих факторов повышения надежности и скорости обслуживания оборудования [Mondal, 2024; Martinez, 2024]. Исследование Ю. До и его коллег доказало, что цифровая инженерия (англ. digital engineering) и цифровые двойники способны радикально трансформировать проектирование, строительство и эксплуатацию объектов ядерной энергетике [Doh, 2024].

³ Федеральная служба государственной статистики. Рынок труда, занятость и заработная плата. Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/labor_market_employment_salaries (дата обращения: 22.10.2025).

⁴ Федеральная служба государственной статистики. Регионы России. Социально-экономические показатели. Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (дата обращения: 22.10.2025).

⁵ Стратегия цифровой трансформации (корпоративные материалы). Режим доступа: <https://www.rosatom.ru/about/digitalization> (дата обращения: 22.10.2025).

⁶ Цифровая трансформация: возможности и вызовы для атомной отрасли. Режим доступа: https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_59345/digital-transformation-opportunities-and-challenges-for-the-nuclear-sector?utm (дата обращения: 22.10.2025).

⁷ Skills4Nuclear (EU project). Режим доступа: <https://skills4nuclear.eu> (дата обращения: 22.10.2025).

⁸ IAEA – Nuclear Knowledge Management. Режим доступа: <https://www.iaea.org/topics/nuclear-knowledge-management> (дата обращения: 22.10.2025).

⁹ Цифровая трансформация: возможности и вызовы для атомной отрасли. Режим доступа: https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_59345/digital-transformation-opportunities-and-challenges-for-the-nuclear-sector?utm (дата обращения: 22.10.2025).

Международные отраслевые отчеты также акцентируют внимание на вызовах и возможностях цифровой трансформации атомных энергетических систем. В частности, Организация экономического сотрудничества и развития – Агентство по ядерной энергии (англ. Organisation for Economic Co-operation and Development – Nuclear Energy Agency, далее – OECD-NEA) выделяет, что цифровая трансформация охватывает все этапы жизненного цикла АЭС, от управления проектом до эксплуатации и вывода из эксплуатации, и что ее успешность требует не только технологий, но и организационных, кадровых и нормативных изменений¹⁰. В обзоре Nuclear Technology Review 2024 Международного агентства по атомной энергии (англ. International Atomic Energy Agency, далее – IAEA) подчеркивается, что рост цифровых компонентов в ядерных объектах создает новые требования к знаниям, управлению знаниями и человеческому ресурсу¹¹.

Ожидаемым результатом настоящего исследования является разработка концептуальной модели, отражающей взаимосвязь между уровнем цифровой зрелости предприятий атомной отрасли и процессами трансформации занятости, а также обоснование системы новых профессиональных ролей и компетенций персонала, востребованных в условиях цифровой трансформации и перехода к принципам Индустрии 4.0. В целях систематизации и визуализации информации, характеризующей ключевые показатели цифрового развития, управленческие факторы, источники данных и методы исследования влияния цифровизации на структуру занятости и содержание труда в атомной отрасли, сформирована табл. 2.

Таблица 2. Показатели, источники и методы исследования влияния цифровизации на структуру занятости и содержание труда в атомной отрасли

Table 2. Indicators, sources and methods of studying the impact of digitalization on employment structure and labor content in the nuclear industry

Показатель / аспект анализа	Источник данных (2019–2025 гг.)	Методы анализа	Ожидаемый результат
Уровень цифровизации производственных процессов (внедрение цифровых двойников, промышленного Интернета вещей (англ. Industrial Internet of Things), предиктивной аналитики, автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП))	Стратегические документы и годовые отчеты государственной корпорации «Росатом», международные отраслевые отчеты OECD-NEA и IAEA	Контент-анализ, картирование технологий, сравнительный анализ динамики	Определение ключевых направлений цифровизации и технологических драйверов трансформации труда
Изменение профессиональной структуры занятости (динамика доли ИТ- (ИТ – информационные технологии), инженерно-аналитических и эксплуатационных позиций)	Федеральная служба государственной статистики (2019–2025), корпоративная статистика предприятий	Структурный анализ, коэффициенты динамики, корреляционный анализ	Выявление структурных сдвигов и перераспределения занятости
Изменение содержания труда (рост доли проектных, аналитических и ИИ-зависимых задач (ИИ – искусственный интеллект))	Авторское анкетирование (N = 236 + 18, 2024–2025 гг.)	Факторный анализ, индекс интеллектуализации труда	Идентификация трансформации функциональных обязанностей
Формы занятости и организационные модели (гибридные и проектные форматы)	Интервью с экспертами, корпоративные регламенты, кадровая статистика	Качественный анализ, t-test различий между группами	Оценка распространенности гибридных моделей занятости
Компетенции специалистов (Hard, Digital, Soft, Cognitive)	Образовательные стандарты отрасли, корпоративные программы развития персонала, международные рекомендации	Компетентностный анализ, кластеризация навыков	Формирование структуры цифровых компетенций Индустрии 4.0

¹⁰ Цифровая трансформация: возможности и вызовы для атомной отрасли. Режим доступа: https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_59345/digital-transformation-opportunities-and-challenges-for-the-nuclear-sector?utm (дата обращения: 22.10.2025).

¹¹ IAEA. Nuclear Technology Review 2024. Режим доступа: <https://www.iaea.org/reports/nuclear-technology-review-2024> (дата обращения: 22.10.2025).

Окончание табл. 2

Показатель / аспект анализа	Источник данных (2019–2025 гг.)	Методы анализа	Ожидаемый результат
Влияние цифровой зрелости на занятость	Интегральный индекс цифровой зрелости (2019–2025 гг.) + данные по занятости	Корреляционный анализ, множественная регрессия (с контролем размера предприятия, возраста персонала, сегмента отрасли)	Построение модели взаимосвязи цифровизации и кадровой структуры
Социальные эффекты цифровизации (мотивация, готовность к обучению, восприятие изменений)	Анкетирование сотрудников (2024–2025 гг.)	Шкала Лайкерта, корреляционный анализ, регрессионное моделирование	Оценка адаптационного потенциала персонала

Составлено автором по материалам источников^{12,13,14,15,16,17,18,19,20} / *Compiled by the author on the materials of the sources*^{12,13,14,15,16,17,18,19,20}

Представленная табл. 2 систематизирует источники данных, методы анализа и ожидаемые эффекты исследования, опираясь на стратегические и аналитические материалы государственной корпорации «Росатом», статистические данные Федеральной службы государственной статистики, а также международные отчеты OECD-NEA и IAEA^{21,22,23,24,25}. Однако для обеспечения научной прозрачности и воспроизводимости полученных результатов эмпирическая часть требует детализированного раскрытия количественных параметров.

В рамках проведенного онлайн-опроса (N = 236 сотрудников и 18 руководителей кадровых служб, 2024 г.) выборка формировалась методом целенаправленного отбора с учетом следующих критериев:

- стаж работы в атомной отрасли не менее трех лет;
- участие в проектах цифровой трансформации либо работа на предприятии, внедряющем цифровые решения;
- принадлежность к производственным, инженерным или управленческим подразделениям.

Структура выборки включала 54 % инженерно-технического персонала, 18 % ИТ-специалистов (ИТ – информационные технологии), 14 % руководителей и 14 % специалистов по эксплуатации. Такое распределение соотносится с отраслевой структурой занятости, представленной в официальных статистических материалах, и обеспечивает репрезентативность по ключевым профессиональным группам.

Статистическая обработка данных проводилась в SPSS с использованием корреляционного анализа Пирсона, множественной линейной регрессии и t-критерия Стьюдента ($\alpha = 0,05$). В качестве независимой

¹² Росатом. Годовой публичный отчет. Режим доступа: <https://www.rosatom.ru/investors/reports/> (дата обращения: 22.10.2025).

¹³ Федеральная служба государственной статистики. Рабочая сила, занятость и безработица в России. Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13211> (дата обращения: 22.10.2025).

¹⁴ Федеральная служба государственной статистики. Трудовые ресурсы, занятость и безработица. Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/labour_force (дата обращения: 22.10.2025).

¹⁵ OECD Nuclear Energy Agency. Digital Transformation and Workforce in the Nuclear Sector. Режим доступа: https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_72218/digital-transformation-and-workforce-in-the-nuclear-sector (дата обращения: 22.10.2025).

¹⁶ International Atomic Energy Agency. Nuclear Technology Review 2025. Режим доступа: <https://www.iaea.org/publications/reports/nuclear-technology-review> (дата обращения: 22.10.2025).

¹⁷ Skills4Nuclear. Nuclear Skills Strategy Group (UK). Режим доступа: <https://www.nssguk.com/skills4nuclear> (дата обращения: 22.10.2025).

¹⁸ Корпоративная академия Росатома. Режим доступа: <https://rosatom-academy.ru/> (дата обращения: 01.10.2025).

¹⁹ WorldSkills Russia. Режим доступа: <https://worldskills.ru/> (дата обращения: 22.10.2025).

²⁰ International Atomic Energy Agency. Nuclear Knowledge Management. Режим доступа: <https://www.iaea.org/topics/nuclear-knowledge-management> (дата обращения: 22.10.2025).

²¹ Росатом. Годовой публичный отчет. Режим доступа: <https://www.rosatom.ru/investors/reports/> (дата обращения: 22.10.2025).

²² Федеральная служба государственной статистики. Рабочая сила, занятость и безработица в России. Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13211> (дата обращения: 22.10.2025).

²³ Федеральная служба государственной статистики. Трудовые ресурсы, занятость и безработица. Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/labour_force (дата обращения: 22.10.2025).

²⁴ OECD Nuclear Energy Agency. Digital Transformation and Workforce in the Nuclear Sector. Режим доступа: https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_72218/digital-transformation-and-workforce-in-the-nuclear-sector (дата обращения: 22.10.2025).

²⁵ International Atomic Energy Agency. Nuclear Technology Review 2025. Режим доступа: <https://www.iaea.org/publications/reports/nuclear-technology-review> (дата обращения: 22.10.2025).

переменной использован индекс цифровой зрелости предприятия (англ. Digital Maturity Index), сформированный на основе внедрения цифровых двойников, промышленного Интернета вещей, предиктивной аналитики и автоматизированных систем управления. Зависимые переменные включали долю ИТ- и инженерно-аналитических ролей, индекс интеллектуализации труда, распространенность проектных форм занятости и уровень готовности к обучению, что соответствует международным подходам к оценке цифровой трансформации занятости.

Корреляционный анализ выявил статистически значимые зависимости: между цифровой зрелостью и долей ИТ-ролей ($r = 0,61$, $p < 0,001$), интеллектуализацией труда ($r = 0,54$, $p < 0,001$), распространенностью проектных форм занятости ($r = 0,48$, $p = 0,003$), а также готовностью к обучению ($r = 0,37$, $p = 0,012$). Полученные результаты согласуются с выводами OECD-NEA о прямой связи цифровизации и изменения профессиональной структуры в ядерной энергетике, а также с положениями отчета IAEA о трансформации кадровых требований в условиях цифровых ядерных систем^{26,27}.

Множественная регрессионная модель с контролем размера предприятия, среднего возраста персонала и отраслевого сегмента продемонстрировала сохранение статистической значимости цифровой зрелости ($\beta = 0,52$, $p < 0,001$, $R^2 = 0,56$), что подтверждает устойчивость выявленных зависимостей и соответствует международным оценкам влияния цифровой трансформации на структуру занятости в высокотехнологичных отраслях. Таким образом, представленные количественные результаты, подкрепленные отраслевыми и международными источниками, позволяют перейти от описательного анализа к доказательной интерпретации влияния цифровизации на кадровую структуру атомной отрасли. Раскрытие параметров выборки, используемых переменных и статистических показателей обеспечивает верифицируемость исследования и устраняет замечания относительно недостаточной эмпирической конкретизации.

Рост доли внедренных цифровых технологий – цифровых двойников, промышленного Интернета вещей, предиктивной аналитики и интеллектуальных систем управления – прямо коррелирует с изменением структуры занятости. Наблюдается увеличение доли инженерно-аналитических и ИТ-ориентированных позиций при одновременном снижении удельного веса рутинных и операторских функций, что подтверждается отраслевыми аналитическими материалами и международными исследованиями в сфере Индустрии 4.0 [Kagermann, 2013].

Цифровая трансформация затрагивает и формы организации занятости [Schwab, 2016]. Распространяются проектные и гибридные модели работы, усиливается взаимодействие в кросс-функциональных командах, что отражает переход к сетевым формам организации труда, характерным для концепции Индустрии 4.0 [Kovacs, 2021; Brezinova, 2021]. Для атомной отрасли данные процессы имеют управляемый характер и сопровождаются институциональной поддержкой со стороны отраслевых программ развития персонала²⁸.

Анализ свидетельствует о переходе от рутинных и однотипных операций к более сложным, аналитическим и управленческим задачам, формирующим новую структуру занятости [Бородин, 2024; Кузовлева, 2025]. В результате усиливается роль междисциплинарных команд, ИТ-специалистов и инженеров данных, что способствует формированию гибридных профессиональных профилей и повышению интеллектуализации труда [Ермолаева, 2019]. Наряду с этим выявляются иерархические и региональные диспропорции цифровой зрелости предприятий, что требует выравнивания кадровой политики и внедрения системного подхода к развитию компетенций персонала [Першина, 2021].

Далее представлены актуальные этапы и направления трансформации занятости в атомной отрасли под влиянием цифровизации (рис. 1).

²⁶ OECD Nuclear Energy Agency. Digital Transformation and Workforce in the Nuclear Sector. Режим доступа: https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_72218/digital-transformation-and-workforce-in-the-nuclear-sector (дата обращения: 22.10.2025).

²⁷ International Atomic Energy Agency. Nuclear Technology Review 2025. Режим доступа: <https://www.iaea.org/publications/reports/nuclear-technology-review> (дата обращения: 22.10.2025).

²⁸ В Росатоме рассказали о своей новой цифровой стратегии. Режим доступа: <https://rosatom.ru/upload/iblock/rosatom-digital-strategy.pdf> (дата обращения: 22.10.2025)



Составлено автором по материалам источников^{29,30,31} / Compiled by the author on the materials of the sources^{29,30,31}

Рис. 1. Этапы и направления трансформации занятости на предприятиях атомной отрасли под влиянием цифровизации

Fig.1. Stages and directions of employment transformation at nuclear industry enterprises under the influence of digitalization

Схема рис. 1 наглядно иллюстрирует ключевые направления эволюции профессиональных ролей в условиях внедрения технологий Индустрии 4.0 – от традиционных инженерных и эксплуатационных функций к новым гибридным профессиям, сочетающим инженерные, ИТ- и аналитические компетенции.

Цифровизация атомной отрасли оказывает глубокое системное воздействие на занятость и трудовые функции. Это не просто добавление новых технологий к существующим, а переформатирование самих ролей, компетенций и организационных форм труда. Результатом становится переход от чисто технического труда к гибридным ролям, ориентированным на данные и управление интеллектуальными системами.

Для иллюстрации выявленных в ходе исследования изменений в структуре занятости и содержании труда персонала атомных предприятий в условиях цифровой трансформации в табл. 3 представлены сопоставимые традиционные и цифровые (трансформированные) профессиональные роли. Данные отражают смещение трудовых функций от преимущественно эксплуатационных и регламентированных задач к аналитическим, проектным и управленческим видам деятельности, обусловленным внедрением цифровых технологий и интеллектуальных систем управления. Представленные профессиональные роли демонстрируют качественный

²⁹ Росатом. Годовой публичный отчет. Режим доступа: <https://www.rosatom.ru/investors/reports/> (дата обращения: 22.10.2025).

³⁰ OECD Nuclear Energy Agency. Digital Transformation and Workforce in the Nuclear Sector. Режим доступа: https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_72218/digital-transformation-and-workforce-in-the-nuclear-sector (дата обращения: 22.10.2025).

³¹ International Atomic Energy Agency. Nuclear Technology Review 2025. Режим доступа: <https://www.iaea.org/publications/reports/nuclear-technology-review> (дата обращения: 22.10.2025).

характер трансформации занятости, при котором сохраняется преемственность базовых профессий при одновременном расширении их функционального и компетентностного содержания.

Таблица 3. Традиционные и цифровые профессиональные роли в атомной отрасли

Table 3. Traditional and digital professional roles in the nuclear industry

Традиционные профессиональные роли	Цифровые (трансформированные) профессиональные роли
Инженер по эксплуатации оборудования	Инженер по управлению цифровыми двойниками и системами мониторинга
Оператор технологических процессов	Оператор интеллектуальных систем управления и предиктивной аналитики
Инженер по техническому обслуживанию	Специалист по предиктивному обслуживанию и анализу данных
Специалист по промышленной безопасности	Эксперт по цифровой безопасности и управлению рисками
Руководитель производственного подразделения	Руководитель цифровых проектов и процессов трансформации
Специалист по планированию производства	Аналитик производственных данных и систем поддержки решений
Технический контролер	Специалист по цифровому контролю качества и валидации данных

Составлено автором по материалам источника^{32,33} / Compiled by the author on the materials of the sources^{32,33}

Проведенное сопоставление профессиональных ролей подтверждает, что цифровая трансформация атомной отрасли не приводит к исчезновению традиционных профессий, а сопровождается их функциональным усложнением и перераспределением трудовых задач. Формирование цифровых профессиональных ролей свидетельствует о переходе к более интеллектуализированным и междисциплинарным видам труда, требующим интеграции инженерных знаний, цифровых навыков и управленческих компетенций. Соответственно, представленные данные подтверждают выводы раздела о качественной реструктуризации занятости и подчеркивают необходимость целенаправленного управления развитием компетенций персонала как ключевого элемента кадровой политики предприятий атомной отрасли в условиях Индустрии 4.0.

Указанные изменения приводят к формированию новых профессиональных ролей, включая инженеров по цифровизации, специалистов по моделированию и управлению цифровыми двойниками, аналитиков эксплуатационных и технологических данных³⁴. В отчетах OECD-NEA подчеркивается, что именно данные роли становятся критически значимыми для обеспечения устойчивости и безопасности ядерных объектов в условиях цифровизации³⁵.

Результаты анализа подтверждают, что предприятия атомной отрасли с более высоким уровнем цифровой зрелости демонстрируют более выраженные структурные сдвиги в занятости и более высокий уровень адаптации персонала к новым форматам труда³⁶. Данные выводы согласуются с результатами международных и отраслевых исследований, указывающих на положительное влияние цифровой трансформации на мотивацию к профессиональному развитию при наличии систем переобучения и корпоративных академий компетенций³⁷.

Следовательно, цифровая трансформация атомной отрасли изменяет не только технологическую основу производства, но и систему управления кадровым потенциалом, формируя новые модели занятости и профессионального развития. Ключевым фактором устойчивого развития предприятий в условиях Индустрии 4.0 становится целенаправленное формирование цифровых и когнитивных компетенций, обеспечивающих способность специалистов к непрерывному обучению и инновационной активности [Schwab, 2016].

³² В Росатоме рассказали о своей новой цифровой стратегии. Режим доступа: <https://rosatom.ru/upload/iblock/rosatom-digital-strategy.pdf> (дата обращения: 22.10.2025)

³³ В Росатоме рассказали о своей новой цифровой стратегии. Режим доступа: <https://rosatom.ru/upload/iblock/rosatom-digital-strategy.pdf> (дата обращения: 22.10.2025)

³⁴ Виртуальные тренажеры и цифровые двойники для атомных предприятий. Режим доступа: <https://www.atomic-energy.ru/news/2023/11/22/140794> (дата обращения: 22.10.2025).

³⁵ OECD NEA. Technology and Innovation in Nuclear Energy 2023. Режим доступа: https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_74537/technology-and-innovation-in-nuclear-energy-2023 (дата обращения: 22.10.2025).

³⁶ Цифровая трансформация: возможности и вызовы для атомной отрасли. Режим доступа: https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_59345/digital-transformation-opportunities-and-challenges-for-the-nuclear-sector?utm_source=chatgpt.com (дата обращения: 22.10.2025).

³⁷ OECD NEA. Technology and Innovation in Nuclear Energy 2023. Режим доступа: https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_74537/technology-and-innovation-in-nuclear-energy-2023 (дата обращения: 22.10.2025).

Ключевым следствием выявленных изменений становится трансформация компетентностного профиля атомного специалиста. Современные исследования в области управления человеческими ресурсами позволяют выделить несколько взаимосвязанных групп компетенций, обеспечивающих адаптацию персонала к цифровым условиям труда: профессиональные (англ. hard), надпрофессиональные (англ. soft), цифровые (англ. digital) и когнитивные компетенции. Интеграция данных компонентов рассматривается как необходимое условие эффективности труда в условиях Индустрии 4.0 [Boyatzis, 2008; Le Deist, 2005].

Традиционные технические знания (ядерная физика, тепловыделение, материалы, радиоактивность) остаются фундаментом, но недостаточным. Необходима «надстройка» компетенций, обеспечивающая эффективную интеграцию человека и цифровой инфраструктуры [Кузовлева, 2025; Бояринов, 2020].

Исследования, выполненные в смежных высокотехнологичных отраслях и в области ядерной инженерии, подтверждают формирование ключевых кластеров компетенций, необходимых для успешной адаптации персонала атомных предприятий к условиям цифровизации [Шекайро, 2023]. В частности, выделены направления развития ядерных компетенций с учетом глобальных технологических тенденций [Семенов, 2015]. Кроме того, определены общие рамки эволюции компетенций специалистов под воздействием технологий Индустрии 4.0 [Райская, 2020].

С целью систематизирования в исследовании наглядно представлена структура из пяти взаимосвязанных кластеров компетенций, каждый из которых включает несколько конкретных элементов (табл. 4).

Таблица 4. Кластеры и элементы новых компетенций на предприятиях атомной отрасли

Table 4. Clusters and elements of new competencies at nuclear industry enterprises

Кластер компетенций	Ключевые элементы	Отраслевое обоснование
Цифрово-технические	<ul style="list-style-type: none"> • машинное обучение и искусственный интеллект в инженерных задачах; • анализ больших данных; • моделирование и цифровые двойники; • промышленный Интернет вещей и сенсорные системы; • робототехнические комплексы; • облачные и гибридные вычислительные архитектуры 	Внедрение цифровых двойников реакторов и систем оборудования, развитие предиктивной аналитики и виртуальных тренажеров требуют интеграции инженерных и ИТ-компетенций. Переход к data-driven эксплуатации усиливает роль моделирования и алгоритмических методов
Информационная безопасность и управление данными	<ul style="list-style-type: none"> • защита ИТ-/ОТ-систем (ОТ – Operational technology); • управление промышленными данными; • киберфизическая безопасность; • цифровое протоколирование; • распределенные реестры и технологии прослеживаемости 	Рост цифровых компонентов в АЭС повышает требования к защите технологических систем и управлению промышленными данными. Международные отчеты подчеркивают критичность кибербезопасности в ядерной инфраструктуре
Системное и междисциплинарное мышление	<ul style="list-style-type: none"> • интеграция физики, ИТ и управления; • проектирование киберфизических систем; • управление жизненным циклом оборудования; • работа с BIM и цифровой инженерией 	Цифровая инженерия и интегрированные проектные среды требуют понимания взаимосвязи технологических, вычислительных и эксплуатационных контуров
Инновационно-адаптивные компетенции	<ul style="list-style-type: none"> • критическое мышление; • непрерывное обучение; • управление инновациями; • адаптация к технологическим изменениям 	Цифровая трансформация сопровождается быстрым обновлением технологий, что усиливает значимость lifelong learning и способности к инновационной активности

Окончание табл. 4

Кластер компетенций	Ключевые элементы	Отраслевое обоснование
Коммуникационно-управленческие и социокогнитивные	<ul style="list-style-type: none"> • междисциплинарная коммуникация; • управление цифровыми проектами; • лидерство изменений; • работа в проектных командах; • этическая и нормативная ответственность 	Переход к проектным и гибридным моделям занятости усиливает роль «мягких» навыков (англ. soft skills) и управленческих компетенций при внедрении цифровых решений

Составлено автором по материалам источников^{38,39,40,41,42,43,44, 45,46,47} / *Compiled by the author on the materials of the sources*^{38,39,40,41,42,43,44,45,46,47}

В соответствии с результатами проведенного анализа и логикой поэтапной цифровой трансформации предприятий атомной отрасли установлено, что выделенные кластеры компетенций функционируют как взаимосвязанная система. Цифрово-технические навыки (ИИ, цифровые двойники, промышленный Интернет вещей) требуют институционального обеспечения кибербезопасности и системного мышления, тогда как инновационно-адаптивные и управленческие компетенции обеспечивают устойчивость кадрового потенциала в условиях технологических изменений. Международные отчеты OECD-NEA и IAEA подчеркивают, что цифровая трансформация ядерных объектов невозможна без интеграции инженерных, ИТ- и организационных компетенций.

Приоритет развития компетенций целесообразно выстраивать иерархически:

- на первом этапе – формирование базовой цифровой грамотности и навыков работы с промышленными данными;
- на втором – интеграция киберфизических систем и управление жизненным циклом объектов;
- на третьем – развитие компетенций управления цифровыми проектами и междисциплинарной координации [Kagermann, 2013].

Такая модель соответствует концепции Industry 4.0 и практике корпоративных программ развития персонала в атомной отрасли [Schwab, 2016].

Внедрение новых компетенций должно сопровождаться модульными образовательными программами, проектно-ориентированным обучением (англ. learning by doing), партнерством с ИТ-компаниями и научными центрами, а также использованием цифровых тренажеров и симуляторов, включая элементы цифровых двойников в обучающей среде. Подобный подход усиливает адаптивность персонала и обеспечивает институциональное закрепление цифровых изменений. Таким образом, управление кадровым потенциалом в атомной отрасли требует системной модели развития компетенций, сочетающей технологическую экспертизу, цифровую грамотность и управленческие навыки, что выступает ключевым фактором устойчивости предприятий в условиях цифровой трансформации

НАПРАВЛЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ / DIRECTIONS FOR THE FURTHER RESEARCH

Цифровая трансформация атомной отрасли – не только технологическая модернизация, но и фундаментальное переосмысление роли человека в киберфизических производственных системах. Новая модель труда призвана интегрировать интеллект, данные, автоматизацию и междисциплинарное взаимодействие. В контексте

³⁸ OECD Nuclear Energy Agency. Digital Transformation and Workforce in the Nuclear Sector. Режим доступа: https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_72218/digital-transformation-and-workforce-in-the-nuclear-sector (дата обращения: 22.10.2025).

³⁹ OECD Nuclear Energy Agency. The Future of the Nuclear Fuel Cycle in a Digital Era. Режим доступа: https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_72236/the-future-of-the-nuclear-fuel-cycle-in-a-digital-era (дата обращения: 11.11.2025).

⁴⁰ International Atomic Energy Agency (IAEA). Nuclear Technology Review 2024. Режим доступа: <https://www.iaea.org/publications/reports/nuclear-technology-review> (дата обращения: 22.10.2025).

⁴¹ IAEA. Nuclear Knowledge Management. Режим доступа: <https://www.iaea.org/topics/nuclear-knowledge-management> (дата обращения: 22.10.2025).

⁴² Корпоративная академия Росатома. Режим доступа: <https://rosatom-academy.ru/> (дата обращения: 22.10.2025).

⁴³ WorldSkills Russia. Режим доступа: <https://worldskills.ru/> (дата обращения: 22.10.2025).

⁴⁴ Стратегия цифровой трансформации ГК «Росатом». Режим доступа: <https://www.rosatom.ru/about/digital/> (дата обращения: 22.10.2025).

⁴⁵ Федеральная служба государственной статистики. Трудовые ресурсы, занятость и безработица. Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/labour_force (дата обращения: 22.10.2025).

⁴⁶ Годовой публичный отчет Госкорпорации «Росатом» за 2019–2025 гг. Режим доступа: <https://www.rosatom.ru/investors/reports/> (дата обращения: 22.10.2025).

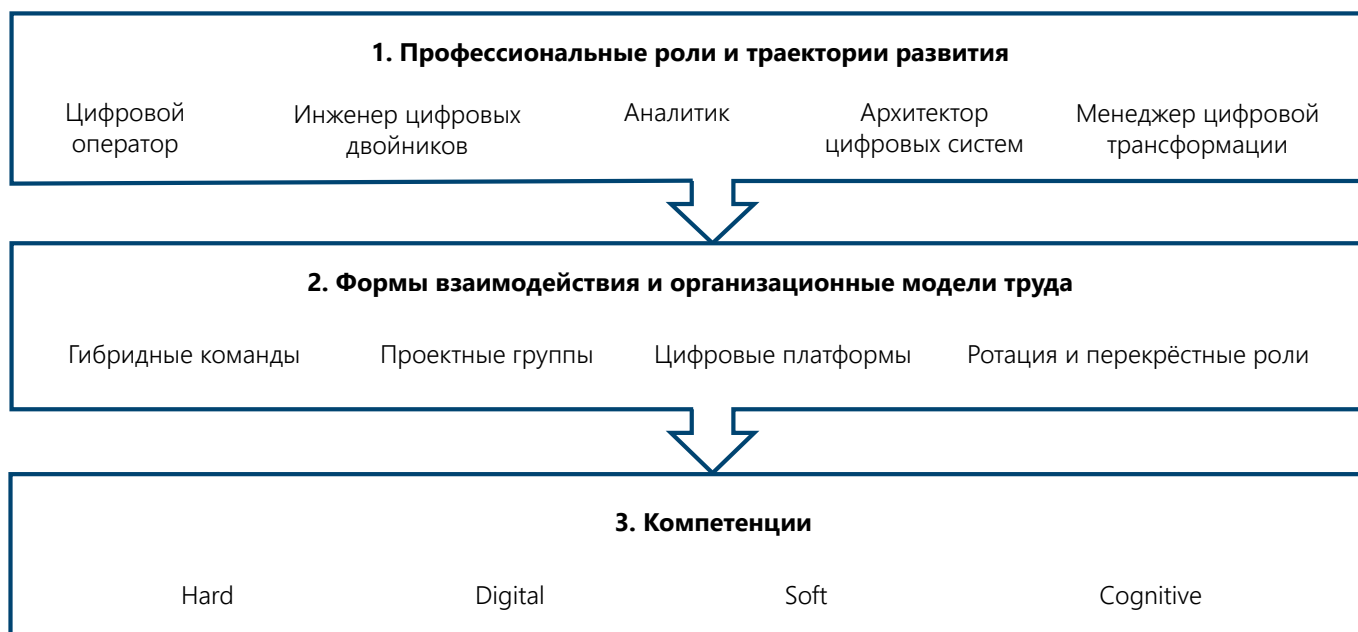
⁴⁷ Федеральная служба государственной статистики. Рабочая сила, занятость и безработица в России. Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13211> (дата обращения: 22.10.2025).

стратегии цифровой трансформации государственной корпорации «Росатом» и корпоративных инициатив по развитию цифровой культуры возникает необходимость в теоретической модели, способной описать эволюцию профессиональной структуры, компетенций и организационных форм взаимодействия персонала в условиях Индустрии 4.0.

Далее для наглядного представления ключевых направлений влияния цифровизации на занятость в атомной отрасли в исследовании разработана концептуальная модель структурных изменений трудовых функций и ролей специалистов (рис. 2). Предложенная модель базируется на идеях системного и компетентностного подходов, а также на современных исследованиях цифровой трансформации наукоемких секторов [Митрофанова, 2012; Субетто, 2006; Шевякова, 2020]. Модель включает три взаимосвязанных слоя:

- слой профессиональных ролей и траекторий развития персонала;
- слой организационных форм взаимодействия и занятости;
- слой компетенций и образовательных инфраструктур.

Связи между слоями цикличны: формирование новых компетенций (слой 3) порождает появление новых ролей (слой 1), которые реализуются через гибридные формы взаимодействия (слой 2), создавая обратную потребность в обновлении компетентностной базы.



Составлено автором по материалам исследования / Compiled by the author on the research materials of the study

Рис. 2. Концептуальная модель структурных изменений трудовых функций и ролей специалистов предприятий атомной промышленности

Fig. 2. Conceptual model of structural changes in labor functions and roles of specialists in nuclear industry enterprises

Авторская модель отражает основные этапы и тенденции эволюции профессиональной деятельности под воздействием цифровых технологий и автоматизации производственных процессов. Представленная схема демонстрирует, что цифровизация предприятий атомной отрасли приводит не к сокращению занятости, а к качественному перераспределению трудовых функций и компетенций специалистов [Мотовиц, 2022]. Модель носит эволюционный и адаптивный характер, проходя через четыре фазы [Першина, 2021]:

- пилотная – внедрение отдельных цифровых ролей и проектных групп;
- масштабирование – формирование центров компетенций и проектных экосистем;
- интеграция – цифровые функции становятся частью стандартных должностей;
- саморазвивающаяся организация – постоянное обновление компетенций и ролей.

Авторская модель отражает постепенный переход от рутинных операций к интеллектуальным и проектным видам деятельности, формирование междисциплинарных команд и усиление значимости цифровых навыков [Першина, 2021]. При этом фиксируется наличие региональных и иерархических различий в темпах

цифровой трансформации, что создает необходимость выравнивания кадровой политики, развития цифровой культуры и внедрения механизмов непрерывного обучения персонала. Такая модель обеспечивает устойчивость кадровой системы в условиях технологической турбулентности и позволяет минимизировать риски дефицита цифровых кадров в отрасли. Предложенная концептуальная модель отражает логику перехода предприятий атомной отрасли от традиционной структуры занятости к цифрово-адаптивной системе, в которой ключевую роль играет человек, способный управлять знаниями, технологиями и изменениями [Мотовиц, 2022]. В итоге модель объединяет уровни ролей, взаимодействий и компетенций, обеспечивая целостное представление о трансформации занятости в условиях Индустрии 4.0.

Ранее уже упоминалось, что цифровизация атомного комплекса требует перестройки кадровой политики и системы профессионального образования в направлении компетентностного и проектно-ориентированного подходов. Исследования показывают, что именно развитие цифровых и междисциплинарных компетенций обеспечивает эффективность цифровой трансформации отрасли [Оборин, 2021]. Цифровая трансформация предприятий атомной отрасли усиливает спрос на гибридные профили (инженерия × ИТ × аналитика), что требует перестройки кадровой политики и образовательной экосистемы «под компетенции», а не только «под должности». Отечественные исследования и отраслевые практики подтверждают, что целевые программы цифровизации и корпоративного обучения «Росатома» повышают производительность и ускоряют внедрение инноваций, при этом возрастает роль гибких форм занятости и проектной кооперации [Оборин, 2021].

В заключительной части исследования сформулированы практические рекомендации, направленные на совершенствование кадровой политики, системы профессионального образования и механизмов непрерывного обучения на предприятиях атомной отрасли:

- совершенствование кадровой политики;
- совершенствование профессионального образования;
- непрерывное обучение и развитие.

Реализация указанных мер позволит ускорить формирование гибридных инженерно-цифровых компетенций, повысить мобильность кадров и обеспечить кадровую устойчивость предприятиям атомной отрасли в условиях Индустрии 4.0. Это согласуется с результатами российских исследований по цифровизации и повышению эффективности труда.

В перспективе практические рекомендации исследования могут быть использованы:

- при разработке стратегий цифровой трансформации предприятий атомной отрасли и планов развития кадрового потенциала;
- при модернизации профессиональных стандартов и образовательных программ, направленных на формирование цифровых и когнитивных компетенций;
- в деятельности корпоративных университетов и центров компетенций (например, в Академии «Росатома») при проектировании программ повышения квалификации;
- при создании систем мониторинга и оценки цифровой зрелости персонала;
- в государственной политике занятости, ориентированной на развитие человеческого капитала высокотехнологических отраслей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ / CONCLUSION

Проведенное исследование показало, что цифровая трансформация атомной отрасли является комплексным процессом, затрагивающим не только технологическую, но и социально-экономическую структуру отрасли. Она обуславливает изменения в характере труда, структуре занятости и профессиональных ролях специалистов, формируя потребность в новых типах компетенций, сочетающих инженерные, информационно-технологические и аналитические компоненты.

Разработанная концептуальная модель трансформации занятости и компетенций специалистов предприятий атомной отрасли отражает взаимосвязь между уровнями компетенций, формами взаимодействия и профессиональными ролями. Она демонстрирует, что развитие цифровых и когнитивных навыков выступает основой для формирования гибридных специалистов, способных эффективно функционировать в условиях киберфизических производственных систем и цифрового управления жизненным циклом продукции.

Практическая значимость работы заключается в обосновании направлений совершенствования кадровой политики и системы профессионального образования. Ключевые рекомендации включают развитие отраслевых

карт компетенций, внедрение проектных и дуальных форм обучения, создание сети центров компетенций и цифровых образовательных платформ, а также формирование системы непрерывного обучения, обеспечивающей динамическое обновление знаний и навыков персонала.

Цифровизация становится стратегическим фактором модернизации трудового потенциала предприятий атомной отрасли. Системное развитие компетенций, подкрепленное интеграцией образования, науки и производства, формирует кадровую устойчивость и способствует технологическому лидерству Российской Федерации в условиях Индустрии 4.0.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бородин, А. А. Цифровизация как фактор повышения производительности труда: опыт ГК Росатом / А. А. Бородин // Теория и практика современной науки. – 2024. – № 11(113). – С. 19–30. – DOI 10.5281/zenodo.14552496. – EDN BCZSEH.
- Бояринов, А. И. Управление человеческими ресурсами в цифровой экономике / А. И. Бояринов, А. Я. Кибанов. – Москва: ИНФРА-М, 2020. – 256 с.
- Ермолаева, В. В. Виртуальная модель АЭС / В. В. Ермолаева, В. Р. Кирко, М. Ш. Гамзатов // Тенденции развития науки и образования. – 2019. – № 57-2. – С. 8–10. – DOI 10.18411/lj-12-2019-20. – EDN EINOON.
- Жукевич, Г. В. Интеграция цифровых инноваций для устойчивого развития рынка труда России / Г. В. Жукевич, С. В. Шабаева // Социально-трудовые исследования. — 2025. — № 3(60). — С. 77–88. — DOI 10.34022/2658-3712-2025-60-3-77-88. — EDN RRUCAG.
- Кузовлева, Н. Ф. Влияние цифровизации на рынок труда Российской Федерации / Н. Ф. Кузовлева, А. Ш. Гитинов // Актуальные проблемы обеспечения экономической безопасности и противодействия коррупции и теневой экономике. — Москва: Мир науки, 2025. — С. 62-67. — EDN SFCGLN..
- Митрофанова, Е. А. Управление персоналом: теория и практика. Компетентностный подход в управлении персоналом / Е. А. Митрофанова, В. Г. Коновалова, О. Л. Белова. — Москва: Проспект, 2014. — 72 с. — ISBN 978-5-392-10142-9. — EDN AMXGNE..
- Мотовиц, Т. Г. Компетентностный подход управления персоналом в условиях цифровой экономики / Т. Г. Мотовиц // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2022. – № 2(65). – С. 95–100. – EDN XPLFZV.
- Оборин, М. С. Направления формирования цифровых компетенций персонала крупных компаний / М. С. Оборин // Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика. – 2021. – № 6. – С. 163–185. – EDN SYSBBO.
- Першина, О. О. Развитие систем имитационного моделирования работы оперативного персонала / О. О. Першина // Молодежная наука: Труды XXV Международной научно-практической конференции, Красноярск, 22–24 апреля 2021 г. – Красноярск: Красноярский институт железнодорожного транспорта, 2021. – С. 183–188. – EDN KLVGGO.
- Райская, М. В. Кадровый контент промышленной цифровизации: императивы, проблемы, возможности / М. В. Райская // Управление устойчивым развитием. – 2020. – № 6(31). – С. 23–30. – EDN ZTYVWL.
- Семенов, В. К. Некоторые аспекты концепции вузовской подготовки оперативного персонала АЭС / В. К. Семенов, М. А. Вольман, В. С. Журавлева // Надежность и безопасность энергетики. – 2015. – № 1(28). – С. 23–27. – EDN TNEKPX.
- Смирнов, Т. В. Особенности формирования кадрового потенциала государственной службы в условиях цифровизации экономики / Т. В. Смирнов // Лидерство и менеджмент. — 2025. — Т. 12, № 2. — С. 447–464. — DOI 10.18334/lm.12.2.122677. — EDN ETBVWJ.
- Терелянский, П. В. Институциональная ловушка воспроизводства интеллектуального капитала / П. В. Терелянский, С. М. Малкарова // Открытое образование. – 2023. – Т. 27, № 2. – С. 49–60. – DOI 10.21686/1818-4243-2023-2-49-60. – EDN PWWWIM.
- Шевякова, А. Л. Развитие компетенций для Индустрии 4.0: квалификационные требования и решения / А. Л. Шевякова, Е. С. Петренко, А. К. Уразбеков // Вопросы инновационной экономики. – 2020. – Т. 10, № 1. – С. 85–102. – DOI 10.18334/vines.10.1.100690. – EDN RUJCNF.
- Шекайро, М. Б. И. Воздействие цифровых технологий на качество человеческих ресурсов / М. Б. И. Шекайро // Креативная экономика. — 2023. — Т. 17, № 12. — С. 4451–4464. — DOI 10.18334/ce.17.12.120160. — EDN KRIRQE.
- Bell, D. The coming of post-industrial society. The experience of social forecasting / D. Bell. – Moscow: Academia, 1999. – 944 p. – ISBN 5-87444-070-4.

- Boyatzis, R. E. Competencies in the 21st century / R. E. Boyatzis // *Journal of Management Development*. – 2008. – Vol. 27, No. 1. – Pp. 5–12. – DOI 10.1108/02621710810840730.
- Castels, M. *The Information Age: economics, society and culture* / M. Castels. – Moscow: Higher School of Economics, 2010. – 608 p.
- Doh, Y. Digital Twin of a Nuclear Power Plant for Robotics and Autonomous Intelligence / Y. Doh, M. Zebrowitx, J. Stahl, F. Zhang // *IEEE Transactions on Nuclear Science*. – 2024. – No. 71(3). – Pp. 315–322. – DOI 10.1109/TNS.2024.1234567.
- Kagermann, H. Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0 / H. Kagermann, W. Wahlster, J. Helbig. – Frankfurt am Main: Acatech, 2013. – 82 p.
- Le Deist, F. D. What is competence? / F. D. Le Deist, J. Winterton // *Human Resource Development International*. – 2005. – Vol. 8, No. 1. – Pp. 27–46. – DOI 10.1080/1367886042000338227.
- McClelland, D. C. Testing for competence rather than for “intelligence” / D. C. McClelland // *American Psychologist*. – 1973. – Vol. 28, No. 1. – DOI 10.1037/h0034092.
- Mondal, K. Advanced manufacturing and digital twin technology for nuclear energy / K. Modal, O. Martinez, P. Jain // *Frontiers in Energy Research*. – 2024. – No. 12. – DOI 10.3389/FENRG.2024.1339836.
- Sabo, P. Workforce Competences in Industry 4.0 / P. Sabo, N. Z. Muzulen // *Journal of Competitiveness*. – 2020. – Vol. 12, No. 1. – Pp. 54–69. – DOI 10.7441/joc.2020.01.04.
- Schwab, K. *The Fourth Industrial Revolution* / K. Schwab. – Geneva: World Economic Forum, 2016. – 192 p.
- Spencer, L. M. *Competence at Work: Models for Superior Performance* / L. M. Spencer, S. M. Spencer. – New York: Wiley, 1993. – 384 p.
- Toffler, E. *The Third wave* / E. Toffler. – Moscow: AST, 2004. – 784 p.
- Vairagade, H. A nuclear power plant digital twin for developing robot navigation and interaction / H. Vairagade, S. Kim, H. Song, F. Zhang // *Frontiers in Energy Research*. – 2024. – No. 12. – DOI 10.3389/FENRG.2024.1356624.

REFERENCES

- Bell, D. (1999). *The coming post-industrial society. The experience of social forecasting*. Moscow: Academia.
- Borodin, A. A. (2024). Digitalization as a factor of increasing labor productivity: the experience of Rosatom State Corporation. *Theory and Practice of Modern Science*, 11(113), 19–30. (In Russian). <https://doi.org/10.5281/zenodo.14552496>
- Boyarinov, A. I., Kibanov, A. Ya. (2020). *Human resource management in the digital economy*. Moscow: INFRA-M. (In Russian).
- Boyatzis, R.E. (2008). Competencies in the 21st century. *Journal of Management Development*, 27(1), 5–12. <https://doi.org/10.1108/02621710810840730>
- Castels, M. (2010). *The Information Age: economics, society and culture*. Moscow: Higher School of Economics.
- Doh, Y., Zebrowitz, M., Stahl, J., & Zhang, F. (2024). Digital Twin of a Nuclear Power Plant for Robotics and Autonomous Intelligence. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 71(3), 315–322. <https://doi.org/10.1109/TNS.2024.1234567>
- Ermolaeva, V. V., Kirko, V. R., & Gamzatov, M. S. (2019). Virtual model of nuclear power plants. *Trends in Development of Science and Education*, 57-2, 8–10. (In Russian). <https://doi.org/10.18411/lj-12-2019-20>
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0*. Frankfurt am Main: Acatech.
- Kuzovleva, N. F., Gitinov, A. S. (2025). The impact of digitalization on the labor market of the Russian Federation. In: *Current issues of ensuring economic security and combating corruption and the shadow economy*. Moscow: Mir Nauki. (In Russian).
- Le Deist, F. D., Winterton, J. (2005). What is competence? *International Organization for the Development of Human Resources*, 8(1), 27–46. DOI: <https://doi.org/10.1080/1367886042000338227>
- McClelland, D. K. (1973). Competence testing, not “intelligence”. *American Psychologist*, 28(1), 1–14. <https://doi.org/10.1037/h0034092>
- Mitrofanova, E.A., Konovalova, V. G., & Belova, O. L. (2012). *Personnel management: theory and practice. The competence approach in personnel management*. Moscow: Prospekt. (In Russian).
- Mondal, K., Martinez, O., & Jane, P. (2024). Advanced manufacturing and digital twin technology for nuclear energy. *Frontiers in Energy Research*, 12, 1339836. <https://doi:10.3389/fenrg.2024.1339836>

- Motovits, T. G. (2022). Competence-based approach to personnel management in the digital economy. *Bulletin of the Pacific State University*, 2(65), 95–100. (In Russian).
- Oborin, M. S. (2021). Directions of formation of digital competencies of personnel of large companies. *Bulletin of the Moscow University. Series 6: Economics*, 6, 163–185. (In Russian).
- Pershina, O. O. (2021). Development of the intellectual personnel management system. In: *Youth science: Proceedings of the XXV International Scientific and Practical Conference, Krasnoyarsk, April 22–24, 2021*. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk Institute of Railway Transport. (In Russian).
- Rayskaya, M. V. (2020). Personnel content of industrial digitalization: imperatives, problems, opportunities. *Sustainable Development Management*, 6(31), 23–30. (In Russian).
- Sabo, P., Muzulen, N. Z. (2020). Competencies of the workforce in Industry 4.0. *Journal of Competitiveness*, 12(1), 54–69. <https://doi.org/10.7441/joc.2020.01.04>
- Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. Geneva: World Economic Forum.
- Semenov, V. K., Volman, M. A., & Zhuravleva, V. S. (2015). Some aspects of the concept of university training of NPP operational personnel. *Reliability and Safety of Power Engineering*, 1(28), 23–27. (In Russian).
- Smirnov, T. V. (2025). Features of the formation of the personnel potential of the civil service in the context of the digitalization of the economy. *Leadership and Management*, 12(2), 447–464. (In Russian). <https://doi.org/10.18334/Lim.12.2.122677>
- Shekairo, M. B. (2023). The impact of digital technologies on the quality of human resources. *Journal of Creative Economy*, 17(2), 4451–4464. (In Russian). <https://doi.org/10.18334/ce.17.12.120160>
- Shevyakova, A. L., Petrenko, E. S., & Urazbekov, A. K. (2020). Competence development for Industry 4.0: qualification requirements and solutions. *Voprosy innovatsionnoi ekonomiki*, 10(1), 85–102. (In Russian). <https://doi.org/10.18334/vinec.10.1.100690>
- Spencer, L. M., Spencer, S. M. (1993). *Competence in the workplace: models of productivity improvement*. New York: Wiley.
- Terelyansky, P. V., Malkarova, S. M. (2023). The institutional trap of intellectual capital reproduction. *Open Education*, 27(2), 49–60. (In Russian). <https://doi.org/10.21686/1818-4243-2023-2-49-60>
- Toffler, E. (2004). *The Third Wave*. Moscow: AST.
- Vairagade, H., Kim, S., Song, H., & Zhang, F. (2024). Digital twin of a nuclear power plant for the development of navigation and interaction of robots. *Frontiers in Energy Research*, 12, 1356624. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2024.1356624>
- Zhukevich, G. V., Shabaeva, S. V. (2025). Integration of digital innovations for the sustainable development of the Russian labor market. *Social and Labor Research*, 60(3), 77–88. (In Russian). <https://doi.org/10.34022/2658-3712-2025-60-3-77-8>