

Влияние цифровых двойников на трансформацию занятости и компетенций персонала

Смирнов Алексей Павлович

Студент

РЭУ им. Г.В. Плеханова, г. Москва, Российская Федерация

E-mail: Smalex35@mail.ru

Брызгалов Алексей Алексеевич 

Старший преподаватель

РЭУ им. Г.В. Плеханова, г. Москва, Российская Федерация

E-mail: Bryzgalov.aa@rea.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

цифровые двойники, Индустрия 4.0, структура занятости, компетенции персонала, человеческий капитал, цифровая экономика, рынок труда.

АННОТАЦИЯ

Цель статьи заключается в выявлении характера и систематизации последствий влияния технологии цифровых двойников на трансформацию структуры занятости и требований к компетенциям персонала в промышленном секторе в условиях перехода к Индустрии 4.0. Методологическую основу исследования составили синтез положений теории человеческого капитала, компетентностного подхода и концепции четвертой промышленной революции. В работе применены методы сравнительного анализа научной литературы, интерпретации официальных статистических данных (Росстат, НИУ ВШЭ) и международных аналитических отчетов (World Economic Forum, McKinsey, OECD), а также элементы структурного моделирования. Результаты демонстрируют, что внедрение цифровых двойников вызывает не столько количественное вытеснение работников, сколько качественное усложнение профессиональных ролей. Выявлен устойчивый сдвиг кадрового спроса от исполнительских функций к интеллектуальному сопровождению производственных процессов, аналитике данных и межфункциональному взаимодействию. Предложена авторская модель трансформации компетенций, интегрирующая три ключевых компонента: цифровые технические навыки (работа с моделями и платформами), аналитические компетенции (интерпретация данных и сценарное прогнозирование) и универсальные надпрофессиональные качества (адаптивность, проектное мышление). Обосновано формирование нового типа специалиста — интегрированного цифрового эксперта, способного связывать технологическую, информационную и организационную логику предприятия. Выводы акцентируют стратегическую роль непрерывного обучения как механизма конвертации цифровых инвестиций в конкурентные преимущества бизнеса. Обоснована необходимость синхронного обновления образовательных программ и корпоративных HR-стратегий для преодоления разрыва между темпами технологической модернизации и развитием человеческого капитала.

JEL codes: J24, O33, M54, L60, I25

DOI: <https://doi.org/10.52957/2221-3260-2026-6-192-205>

Финансирование: Данное исследование выполнено в рамках государственного задания в сфере научной деятельности Министерства науки и высшего образования РФ на тему «Методы и алгоритмы искусственного интеллекта в решении задач моделирования и прогнозирования динамически сложных социально-экономических систем», номер проекта FSSW-2026-0004

Для цитирования: Смирнов, А.П. Влияние цифровых двойников на трансформацию занятости и компетенций персонала / А.П. Смирнов, А.А. Брызгалов. – Текст : электронный // Теоретическая экономика. – 2026. – № 6. – С 192-205. – URL: <http://www.theoreticaleconomy.ru> (дата публикации: 30.06.2026).

Введение

Цифровые двойники становятся неотъемлемым элементом промышленной трансформации в эпоху Индустрии 4.0. Данная технология оказывает влияние не только на организацию производственных процессов, но и на конфигурацию рынка труда, структуру востребованных профессиональных навыков, а также на методологию подготовки кадров для цифровой экономики. В этой связи возникает необходимость системного осмысления кадровых последствий внедрения цифровых двойников.

Предприятия уже сталкиваются с необходимостью перестройки кадровой политики под воздействием цифровизации, тогда как образовательные программы и модели развития персонала зачастую сохраняют инерционный характер. Анализ влияния цифровых двойников позволяет более точно определить приоритетные компетенции, выявить профессиональные роли, подвергающиеся наиболее существенной трансформации, и предложить механизмы адаптации систем подбора, найма и обучения работников к условиям цифровой экономики. Это придает результатам работы значимость как для научного анализа, так и для практики управления человеческими ресурсами.

Цель исследования заключается в выявлении характера влияния цифровых двойников на структуру занятости и разработке модели трансформации компетенций персонала промышленного сектора в условиях цифровой экономики.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Проанализировать научные и аналитические источники, раскрывающие связь между цифровизацией, внедрением цифровых двойников и изменением рынка труда.
2. Выявить основные изменения в структуре занятости и в запросах к компетенциям персонала на основе официальной статистики и отраслевых аналитических материалов.
3. Сформировать модель трансформации компетенций работников и определить направления ее практического применения в кадровой и образовательной политике.

Научная новизна результатов исследования, представленных в настоящей статье, заключается в разработке авторского подхода к осмыслению влияния цифровых двойников на рынок труда и систему требований к персоналу в промышленном секторе. В отличие от работ, сосредоточенных преимущественно на производственных и технологических эффектах цифровизации, в статье цифровые двойники рассматриваются как самостоятельный фактор трансформации занятости, изменяющий содержание трудовых функций, профессиональную структуру и логику формирования кадрового спроса. Новизна также состоит в выявлении взаимосвязи между расширением цифровизации предприятий, ростом роли интеллектуального сопровождения производственных процессов и усилением спроса на работников с цифровыми и аналитическими компетенциями. Кроме того, предложена авторская модель трансформации компетенций персонала, объединяющая цифровые технические, аналитические и универсальные компоненты в единую систему требований к работнику промышленного сектора.

Методология исследования

Методологическую основу исследования составили положения теории человеческого капитала, компетентностного подхода и концепции Индустрии 4.0 [1; 4; 5]. В работе использованы анализ научной литературы, сопоставление официальных статистических данных, интерпретация отраслевых аналитических материалов и элементы структурного моделирования компетенций. Эмпирическая база сформирована на основе данных Росстата, НИУ ВШЭ, Deloitte, World Economic Forum, OECD, McKinsey, а также рецензируемых публикаций по цифровым двойникам [2; 3; 9–12; 15–25].

Основная часть

В условиях Индустрии 4.0 цифровые двойники постепенно переходят из категории

перспективных инженерных решений в число реальных инструментов промышленного управления. Их специфика заключается в том, что они позволяют объединить физический объект, поток данных и аналитическую модель в единую систему, поддерживающую принятие решений в реальном времени. В логике, предложенной К. Швабом [1], цифровая промышленная трансформация означает не изолированное внедрение отдельных технологий, а глубокую интеграцию материальных, информационных и интеллектуальных компонентов производства. В этой связи цифровые двойники следует рассматривать не только как средство моделирования, но и как технологическую основу более сложной организационной и кадровой трансформации. McKinsey подчеркивает, что цифровые двойники помогают лучше понимать сложные физические системы, проверять сценарии «что-если» и поддерживать более быстрые и экономически обоснованные решения в производстве [9]. Следовательно, их внедрение затрагивает не только техническую инфраструктуру предприятия, но и способы распределения функций между работниками, аналитическими системами и управленческими уровнями.

Для интерпретации этих изменений стоит обратиться к теории человеческого капитала. Г. Беккер [4] и Т. Шульц [5] показали, что знания, навыки и способности работников представляют собой самостоятельный экономический ресурс, от которого зависит эффективность функционирования предприятий и целых отраслей. В условиях цифровизации данный подход приобретает дополнительную значимость, поскольку технологические инновации требуют не только инвестиций в оборудование и программные решения, но и постоянного обновления квалификации работников. Иначе говоря, внедрение цифровых двойников становится эффективным только тогда, когда персонал способен работать с данными, интерпретировать результаты моделирования, участвовать в межфункциональном взаимодействии и принимать решения в условиях неопределенности. Это позволяет рассматривать трансформацию компетенций не как побочный эффект цифровизации, а как одно из ее центральных последствий.

Российская статистика подтверждает, что цифровая трансформация уже имеет системный характер. По данным НИУ ВШЭ, валовые внутренние затраты на развитие цифровой экономики в России в 2022 г. достигли 5 152 млрд руб., что соответствовало 3,4 % ВВП [3]. Кроме того, распределение затрат предприятий на развитие, распространение и использование цифровых технологий показывает заметную роль промышленного сектора: если в 2021 г. на обрабатывающие производства приходилось 8,7 % соответствующих затрат, то в 2022 г. этот показатель вырос до 12,5 % [3]. Это свидетельствует о том, что цифровизация промышленности перестает быть периферийным направлением и становится частью структурной перестройки производственных систем. На рынке труда это означает смещение спроса в сторону специалистов, способных работать в среде, где данные, цифровые платформы, моделирование и аналитика становятся повседневной частью производственного процесса.

Данные НИУ ВШЭ также позволяют увидеть кадровое измерение цифровизации. В 2022 г. доля ИКТ-специалистов в общей занятости в России составила 2,7 %, а доля занятых в других профессиях с высокой ИКТ-нагрузкой достигла 9,3 % [3]. Эти показатели важны по двум причинам. Во-первых, они демонстрируют, что цифровая трансформация уже требует значительного массива работников, непосредственно связанных с ИКТ или активно использующих цифровые инструменты в своей повседневной деятельности. Во-вторых, они подтверждают, что цифровизация не ограничивается узкой группой программистов и разработчиков: она постепенно затрагивает широкий круг профессий, где цифровая составляющая становится не дополнительным навыком, а условием нормального выполнения трудовых функций. В этом смысле трансформация занятости проявляется не только в появлении новых рабочих мест, но и в изменении содержания уже существующих профессиональных ролей.

Международные аналитические отчеты дополняют эту картину. В The Future of Jobs Report 2023 отмечается, что исследование охватило 803 компании, представляющие более 11,3 млн работников, а почти четверть рабочих мест может измениться в ближайшие пять лет [11]. Кроме

того, работодатели ожидают, что 44 % ключевых навыков работников будут трансформированы, а шесть из десяти работников потребуют обучения до 2027 г. [11]. Среди навыков, значимость которых растет быстрее всего, World Economic Forum выделяет аналитическое мышление, технологическую грамотность, AI and big data, а также способность к непрерывному обучению [11]. OECD [12] в свою очередь рассматривает обучение на протяжении всей жизни как условие адаптации работников к технологическим сдвигам. Это означает, что цифровая трансформация уже сегодня изменяет не только структуру занятости, но и сами критерии профессиональной пригодности.

Специальная литература по цифровым двойникам позволяет объяснить, почему внедрение этой технологии сопровождается изменением профессиональной структуры занятости. Р. Сёдерберг с соавторами [15] связывают цифровой двойник с обеспечением качества и геометрической точности в индивидуализированном производстве в реальном времени. Е. Негри, Л. Фумагалли и М. Макки [16] показывают, что цифровой двойник выполняет разные функции в киберфизических системах, включая мониторинг, оптимизацию и прогнозирование. В. Крицингер и соавторы [17] уточняют различия между цифровой моделью, цифровой тенью и полноценным цифровым двойником, подчеркивая степень интеграции физической и виртуальной среды. А. Фуллер и соавторы [18] акцентируют внимание на том, что цифровой двойник опирается на сложную комбинацию Интернета вещей, аналитики, искусственного интеллекта и постоянного обмена данными. Из этого следует принципиально важный вывод: цифровой двойник не является отдельным программным модулем, он выступает интеграционной платформой, которая требует согласованной работы инженеров, аналитиков, ИТ-специалистов и управленцев. Именно эта особенность и создает кадровый эффект, выражающийся в росте спроса на специалистов с комбинированным набором компетенций.

Изменения затрагивают не только высокотехнологичные сегменты, но и общую логику организации труда на предприятии. Если в доцифровой модели значительная часть производственных функций была ориентирована на повторяемые операции, то в среде цифровых двойников усиливается значение мониторинга, интерпретации данных, межфункционального согласования и сценарного анализа. Работник все чаще включается не в изолированное исполнение функции, а в систему интеллектуального сопровождения технологического процесса. Такой сдвиг хорошо соответствует наблюдениям Э. Бриньолфссона и Э. Макафи [13], которые связывают развитие интеллектуальных технологий с перераспределением функций между человеком и машиной. Работы Т. Давенпорта и Р. Ронанки [14] также показывают, что умные системы оказываются наиболее результативными в тех организациях, где человек не вытесняется полностью, а берет на себя интерпретационные, координационные и управленческие роли. В этом контексте цифровые двойники становятся не механизмом полного замещения труда, а фактором его усложнения и перестройки.

На этой основе можно говорить о формировании новой модели компетенций персонала, адекватной условиям распространения цифровых двойников в промышленности и смежных отраслях. Нарисунке 1 представлена интеграция трех ключевых компонентов данной модели. Ее принципиальная особенность заключается в том, что она не сводится к простому расширению существующих квалификационных требований. Речь идет о качественном изменении профессионального профиля работника, который должен одновременно понимать технологические процессы, владеть цифровыми инструментами, интерпретировать данные и эффективно взаимодействовать с представителями разных подразделений. Тем самым цифровые двойники выступают не только как технологическая инновация, но и как фактор институционального и кадрового преобразования предприятия.

Первый компонент модели составляют цифровые технические компетенции. Они образуют фундамент профессиональной деятельности в среде цифровых двойников, поскольку без владения соответствующими инструментами невозможно ни создание, ни сопровождение, ни практическое применение цифровых моделей объектов и процессов. В эту группу входят навыки работы с системами моделирования, цифровыми платформами, промышленными данными, средствами визуализации и инструментами промышленной аналитики. В условиях современного производства специалисту

уже недостаточно ориентироваться только в традиционном инженерном программном обеспечении. Ему необходимо понимать, каким образом данные с датчиков и производственного оборудования поступают в цифровую среду, как они структурируются, очищаются, интегрируются и используются для построения виртуального представления объекта. Отдельное значение приобретает способность работать с CAD, CAE и цифровыми двойниками, а также с промышленными платформами, объединяющими потоки данных, модели и интерфейсы мониторинга.

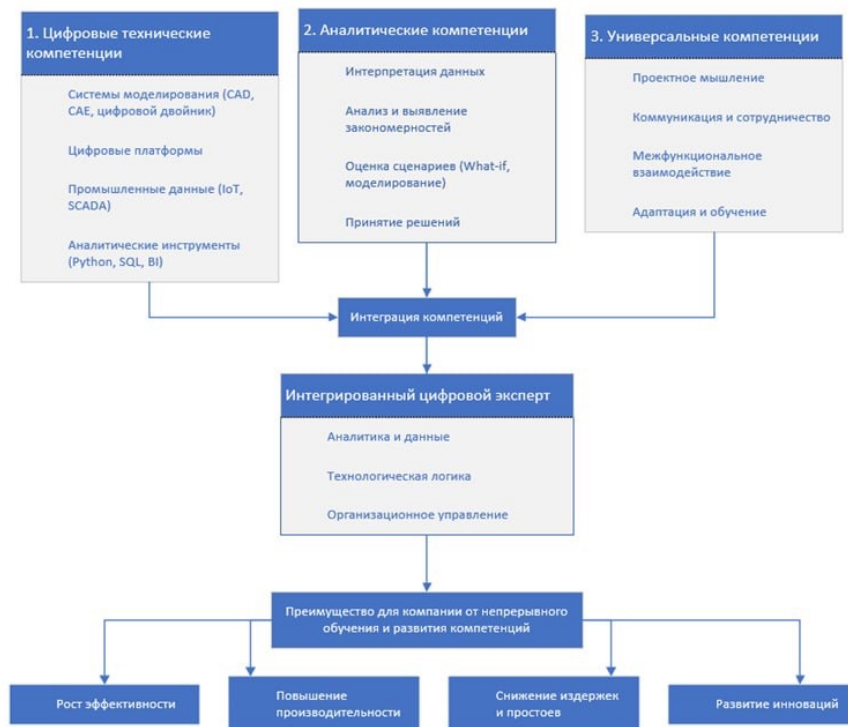


Рисунок 1 – Модель компетенций персонала в условиях цифровых двойников

Источник: составлено авторами

Содержательно цифровые технические компетенции включают не просто навыки использования программ, а более широкий набор способностей: понимание логики цифровой архитектуры предприятия, принципов функционирования IoT-устройств, SCADA-систем, облачных и платформенных решений, а также базовых методов обработки массивов производственной информации. Важным становится и владение аналитическими инструментами, такими как Python, SQL, BI-средства и системы визуализации данных. Эти инструменты позволяют переводить поток технической информации в форму, пригодную для наблюдения, анализа и практического управления. Иными словами, техническая цифровая грамотность перестает быть уделом узких ИТ-специалистов и становится частью более широкого профессионального стандарта для работников, вовлеченных в процессы цифровизации. Именно поэтому первый блок модели следует рассматривать как необходимое, но недостаточное условие формирования нового профиля компетенций.

Аналитический компонент представляет собой второй элемент предлагаемой модели. Если инструментальные навыки открывают доступ к информационным массивам и цифровым системам, то именно аналитическая составляющая делает возможным их содержательное применение. Сюда входит трактовка данных, обнаружение системных зависимостей, анализ возможных вариантов развития событий и содействие процессам выработки решений. Роль данного сегмента многократно возрастает в тех ситуациях, когда цифровой двойник эксплуатируется не в качестве статичной копии, а как подвижный инструмент предвидения, проверки гипотез и отбора управленческих воздействий. Сотрудник обязан различать за цифровыми показателями реальные технологические процессы, возникающие отклонения, взаимосвязи и потенциальные угрозы, а также осознавать, к

каким последствиям способны привести те или иные варианты действий.

В практическом плане это означает смену роли с наблюдения на моделирование и с констатации фактов на предсказание. Специалист, взаимодействующий с цифровым двойником, обязан не просто регистрировать состояние оборудования либо производственной цепочки, но и устанавливать причины возникающих рассогласований, соотносить разнородные параметры, оценивать воздействие внешних и внутренних факторов. Отдельно в этом классе выделяется умение работать со сценариями, то есть способность использовать логику «Что-если...», сопоставляя несколько вероятных путей развития ситуации. Подобный подход особенно востребован при оптимизации технологических режимов, предотвращении простоев, управлении качеством и оценке эффекта от производственных нововведений. Таким образом, аналитические компетенции играют роль связующего звена между информационными потоками и действиями руководства.

При этом следует отметить, что содержание аналитического кластера не ограничивается лишь математическими либо статистическими знаниями. Оно охватывает критическое осмысление, умение работать с неоднозначными данными, формулировать обоснованные заключения и преобразовывать сложные цифровые результаты в форму, доступную для руководителей, инженеров и прочих заинтересованных сторон. Следовательно, аналитическая компетентность в контексте цифровых двойников носит прикладной и коммуникативный характер. Она выражается не только в умении производить расчеты, но и в способности аргументировать, почему полученный результат важен, какие риски он вскрывает и какое решение выглядит предпочтительным в данной организационной обстановке.

Третья составляющая модели объединяет универсальные компетенции. Их значение порой недооценивается, однако именно благодаря им цифровые и аналитические умения могут быть реализованы в реальной организационной среде. К числу таких компетенций относятся проектное мышление, навыки коммуникации, умение работать на стыке функций, способность приспосабливаться к новым условиям и стремление к постоянному обучению. В условиях применения цифровых двойников деятельность всё чаще разворачивается на пересечении различных профессиональных областей: инженерии, информационных технологий, аналитики, производственного менеджмента, логистики и управления качеством. Поэтому даже высококвалифицированный технический работник не сможет быть результативным, если не умеет согласовывать свои действия с другими подразделениями, участвовать в проектной работе и оперативно осваивать новые инструменты и подходы.

Проектное мышление подразумевает способность видеть задачу не как отдельную операцию, а как часть более широкого процесса, увязанного с целями организации, имеющимися ресурсами, сроками и ожидаемыми итогами. Коммуникация и взаимодействие позволяют снимать барьеры между носителями разных профессиональных языков, что критически важно при интеграции цифровых решений. Межфункциональное взаимодействие обеспечивает увязку интересов производственных звеньев, IT-служб, аналитических структур и управленческого аппарата. И наконец, адаптивность вместе с готовностью к непрерывному обучению выступают обязательным условием долгосрочной профессиональной эффективности, поскольку цифровая среда обновляется существенно быстрее, чем традиционные квалификационные модели. В этом смысле универсальные компетенции представляют собой не второстепенное дополнение к техническим и аналитическим навыкам, а полноценную и равнозначную часть новой модели.

Именно сочетание трех названных компонентов формирует облик современного работника, которого можно охарактеризовать как интегрированного цифрового эксперта. Его функция заключается в соединении технологической, информационной и организационной логики предприятия. Такой сотрудник уже не сводится к традиционным ролям инженера, аналитика или пользователя IT-систем. Он действует на стыке нескольких профессиональных сред, обеспечивая перевод технологических данных в управленческие решения. Иными словами, интегрированный

цифровой эксперт выступает носителем комплексной компетентности, которая позволяет не только разбираться в цифровой инфраструктуре компании, но и встраивать результаты ее работы в процессы планирования, координации и развития бизнеса. Данный вывод согласуется с позицией Всемирного экономического форума и Deloitte, которые рассматривают будущий профиль навыков как комбинацию когнитивных, технических и социально-поведенческих элементов [10; 11].

Появление такого профессионального профиля влечет за собой важные практические последствия для кадровой и образовательной политики. Если компании продолжают опираться на традиционные должностные модели, сложившиеся в доцифровую эпоху, они неизбежно сталкиваются с нехваткой кадров, замедлением внедрения новых технологий и снижением отдачи от цифровых инвестиций. Формально организация может располагать современным оборудованием, платформами и программным обеспечением, но без персонала, способного интегрировать их в повседневную производственную практику, потенциал цифровых двойников реализуется лишь частично. Это означает, что проблема цифровой трансформации в значительной мере смещается из технической плоскости в сферу человеческого капитала.

Особое значение в описанной модели имеет нижний контур, отражающий организационно-экономический эффект от развития компетенций. На схеме видно, что интеграция цифровых технических, аналитических и универсальных компетенций не является разовым итогом подготовки кадров, а требует постоянного воспроизводства через механизмы непрерывного обучения и развития компетенций. Именно этот процесс придает модели устойчивость и позволяет превращать индивидуальные знания и навыки сотрудников в измеримые конкурентные преимущества для компании. Иначе говоря, ценность цифровых двойников для бизнеса в полной мере раскрывается только тогда, когда предприятие системно вкладывает средства в обновление компетенций персонала, адаптируя их к изменяющимся технологическим и организационным условиям.

Согласно логике схемы, результатом такого подхода становятся ключевые преимущества для организации. К ним относятся: повышение эффективности, поскольку работники быстрее и точнее используют цифровые инструменты в реальных производственных и управленческих процессах; рост производительности, достигаемый за счет лучшей координации действий, углубления анализа данных и более обоснованного принятия решений; сокращение издержек и простоев, связанное с возможностью заблаговременно выявлять отклонения, моделировать риски и предотвращать технологические сбои; а также развитие инноваций, возникающее благодаря способности персонала осваивать новые цифровые решения, предлагать улучшения и внедрять их на практике. Таким образом, непрерывное обучение в данной модели выступает не вспомогательным элементом, а стратегическим механизмом, связывающим развитие человеческого капитала с достижением экономических и организационных результатов предприятия.

Выводы исследования свидетельствуют о необходимости расширения подготовки в сфере цифрового моделирования, анализа данных, работы с промышленными платформами и интерпретации цифровых сценариев. Однако речь должна идти не только о включении новых дисциплин в учебные планы, но и о пересмотре самой логики подготовки кадров. Перспективным представляется ориентир на междисциплинарные образовательные траектории, в которых инженерные знания сочетаются с основами работы с данными, цифровыми платформами, производственной аналитикой и проектным управлением. Существенную роль здесь может сыграть проектное обучение, позволяющее имитировать реальные производственные задачи и формировать навыки совместной работы над цифровыми решениями. Для уже работающих специалистов особую значимость приобретают программы дополнительного профессионального образования, корпоративные курсы, модульные программы повышения квалификации и механизмы быстрой адаптации к новым технологическим требованиям.

На уровне предприятий это означает необходимость внедрения систем непрерывного обучения, создания внутренних центров развития цифровых компетенций и увязки HR-стратегии с общей

логикой цифрового развития бизнеса. Фактически кадровая политика должна перестать быть вспомогательной функцией и превратиться в один из ключевых механизмов обеспечения цифровой трансформации. Компании требуется не только подбирать сотрудников с новым профилем навыков, но и создавать условия для их постоянного развития внутри организации. Сюда входят диагностика дефицитов компетенций, формирование индивидуальных образовательных траекторий, развитие наставничества, стимулирование межфункциональной мобильности и включение цифровых навыков в систему оценки и карьерного продвижения. Такой подход соответствует выводам [12] о приоритетности непрерывного обучения и заключениям [11] о возрастающем значении повышения квалификации и переобучения для устойчивости рынка труда.

При интерпретации результатов следует учитывать ограничения исследования. Официальная статистика и отраслевые обзоры позволяют достаточно надежно судить о направлении цифровой трансформации, но не всегда дают возможность изолировать влияние именно цифровых двойников от более широкого эффекта цифровизации. В ряде случаев изменения в структуре занятости, требованиях к навыкам и профессиональных ролях могут быть обусловлены одновременно несколькими факторами: внедрением автоматизации, развитием платформенных решений, распространением искусственного интеллекта и ростом роли данных в управлении производством. Кроме того, основная часть доступных данных относится к промышленному сектору, поэтому прямое распространение выводов на сферу услуг, транспорт, здравоохранение или государственное управление требует дополнительной эмпирической проверки.

Тем не менее совокупность статистических материалов, международной аналитики и профильной литературы по цифровым двойникам позволяет уверенно утверждать, что их распространение сопряжено с изменением содержания труда, усложнением профессиональных ролей и повышением значимости цифровых, аналитических и универсальных компетенций. Даже если конкретные отраслевые проявления этой тенденции различаются, общее направление изменений представляется достаточно устойчивым: ценность работника все в большей степени определяется не только узкой специальной подготовкой, но и способностью действовать в цифровой, динамичной и междисциплинарной среде. Следовательно, цифровой двойник выступает не только как объект технологического внедрения, но и как индикатор более широкого перехода к новой модели занятости и профессионализма.

В целом цифровые двойники следует рассматривать не только как технологическое средство повышения эффективности, но и как фактор глубинной перестройки человеческого капитала. Они меняют структуру требований к персоналу, повышают значимость интеллектуального сопровождения производственных процессов и формируют новый тип специалиста, способного работать на стыке инженерии, данных и управления. Именно поэтому вопрос о влиянии цифровых двойников на рынок труда имеет не только научную, но и стратегическую значимость для предприятий, образовательных организаций и институтов государственной политики. Чем раньше будет осмыслена эта трансформация и чем последовательнее будут перестроены системы подготовки, оценки и развития персонала, тем выше окажется вероятность того, что цифровая модернизация приведет не только к обновлению технологий, но и к формированию устойчивых конкурентных преимуществ, основанных на качестве человеческого капитала.

Обсуждение

Полученные в исследовании результаты позволяют рассматривать цифровые двойники не просто как очередной этап технологического обновления промышленности, а как механизм глубокой перестройки трудовых отношений, профессиональной структуры и логики воспроизводства человеческого капитала. В этом заключается принципиальное отличие выявленных эффектов от более ранних волн автоматизации. Если традиционная автоматизация в основном была связана с замещением отдельных операций, стандартизацией процессов и снижением зависимости от ручного труда, то цифровые двойники формируют иную конфигурацию взаимодействия человека,

данных и производственной системы. Их внедрение не сводится к сокращению участия работника в производственном процессе, а, напротив, усиливает требования к его способности интерпретировать данные, координировать действия, принимать решения в условиях высокой информационной насыщенности и работать на стыке нескольких профессиональных областей.

Такой вывод в целом согласуется с положениями теории человеческого капитала [4; 5], однако в условиях цифровой экономики он получает новое содержание. Классическое понимание человеческого капитала акцентировало значение образования, квалификации и профессионального опыта как факторов производительности. В исследовании показано, что в среде цифровых двойников этого уже недостаточно: ценность работника определяется не только глубиной узкоспециализированной подготовки, но и его способностью встраиваться в цифровую насыщенную организационную среду, где производственный процесс становится одновременно физическим, информационным и аналитическим. Это означает, что человеческий капитал перестает быть относительно стабильной совокупностью знаний и навыков и все в большей степени приобретает динамический характер, предполагающий постоянное обновление компетенций. Следовательно, инвестиции в персонал должны рассматриваться не как вспомогательное направление по отношению к технологической модернизации, а как ее неотъемлемая и экономически значимая часть.

Существенным результатом исследования является подтверждение того, что влияние цифровых двойников на занятость носит преимущественно качественный, а не исключительно количественный характер. Анализ статистики и аналитических материалов показывает, что цифровизация не обязательно ведет к простому сокращению рабочих мест; гораздо чаще она меняет содержание трудовых функций и структуру профессионального спроса. В случае цифровых двойников более точным представляется говорить о перераспределении функций внутри существующих профессиональных ролей и о формировании гибридных профилей занятости. Именно поэтому особое значение приобретает не столько вопрос о численности занятых, сколько вопрос о соответствии их компетенций новым требованиям промышленной среды. В этом аспекте результаты исследования развивают выводы [11], [12], а также работы [13], согласно которым технологический прогресс усиливает спрос на когнитивные, аналитические и координационные способности, а не просто вытесняет труд как таковой.

Разработанная в статье модель компетенций позволяет содержательно конкретизировать данную трансформацию. Выделение цифровых технических, аналитических и универсальных компетенций показывает, что профессиональная пригодность в условиях цифровых двойников формируется на пересечении трех взаимосвязанных измерений. Научная значимость такого подхода заключается в преодолении односторонних трактовок, в которых кадровые последствия цифровизации сводятся либо к росту спроса на ИТ-навыки, либо к абстрактному требованию «гибкости» и «адаптивности». Представленная модель демонстрирует, что сами по себе цифровые навыки не обеспечивают эффективности работника, если они не сопряжены со способностью интерпретировать результаты моделирования и переводить их в управленческие действия. В равной степени аналитические способности оказываются недостаточными без умения работать в междофункциональной среде, взаимодействовать с инженерами, ИТ-специалистами и управленцами, а также быстро осваивать новые инструменты. Тем самым исследование подтверждает, что кадровая трансформация под влиянием цифровых двойников имеет комплексный характер и требует интеграции ранее относительно разобщенных профессиональных компонентов.

Особого внимания заслуживает вывод о формировании нового типа специалиста — интегрированного цифрового эксперта. Его появление можно интерпретировать как проявление более широкой тенденции к размыванию жестких границ между инженерными, аналитическими и управленческими функциями. Ранее подобное сочетание навыков чаще рассматривалось как преимущество отдельных высококвалифицированных работников или руководителей проектов. Однако в среде цифровых двойников оно становится более массовым и институционально

значимым требованием. Это влечет за собой преобразования не только в сфере подбора кадров, но и в подходах к конструированию должностных позиций, построению карьерных маршрутов и разработке оценочных инструментов. По сути, предприятие утрачивает возможность формировать кадровую структуру, опираясь исключительно на узкоспециализированные функции, если ключевые управленческие решения базируются на синтезе данных, математических моделей и сценарных прогнозов.

Практическая интерпретация полученных данных свидетельствует о том, что основные препятствия на пути цифровой трансформации все реже обусловлены доступностью технологий как таковых и все чаще — готовностью организации к их освоению в кадровом измерении. Из этого следует, что невысокая результативность цифровых инвестиций зачастую связана не с недостатками технологических решений, а с дефицитом необходимых компетенций у персонала и отсутствием у руководства отработанных механизмов их планомерного развития. В данном контексте ключевое значение приобретает тезис о непрерывном обучении как о базовом элементе, обеспечивающем устойчивость модели. В отличие от традиционного взгляда, в рамках которого обучение рассматривалось как единовременный этап, предшествующий началу профессиональной деятельности, в условиях эксплуатации цифровых двойников оно трансформируется в перманентный процесс, сопровождающий технологические изменения. Иначе говоря, квалификация работника утрачивает статус конечного результата и начинает функционировать как динамично развивающийся ресурс, оказывающий непосредственное влияние на производительность, уровень издержек и инновационную активность организации.

Вместе с тем результаты работы позволяют конкретизировать и потенциальные риски, присущие данной трансформации. Повышенный спрос на интегральные компетенции объективно ужесточает требования к качеству образования и к адаптационным способностям сотрудников. Это способно привести к углублению разрыва между высококвалифицированным ядром, успешно функционирующим в цифровой среде, и теми группами работников, чьи навыки оказываются менее востребованными. Следовательно, внедрение цифровых двойников несет в себе не только потенциал повышения эффективности, но и опасность усиления профессиональной поляризации внутри промышленного сектора. В этой связи особую значимость обретает не только корпоративная, но и государственная кадровая политика, ориентированная на расширение доступа к программам переподготовки, дополнительного профессионального образования и междисциплинарной подготовки.

Следует также принимать во внимание ограничения, присущие проведенному исследованию. Как показано в тексте статьи, значительная часть эмпирической базы отражает общий эффект цифровизации и позволяет лишь частично выделить влияние непосредственно цифровых двойников. Поэтому предложенные выводы целесообразно рассматривать как концептуально и эмпирически обоснованное направление анализа, нуждающееся в последующей верификации на уровне отдельных предприятий, отраслей и профессиональных категорий. Перспективным направлением дальнейших исследований представляется проведение микросоциологических и организационно-экономических изысканий, позволяющих отследить, какие именно функции перераспределяются между человеком и цифровой системой, какие компетенции оказываются наиболее дефицитными в конкретных промышленных сегментах и как изменяется результативность компаний в зависимости от зрелости их кадровой стратегии.

Обсуждение полученных результатов подтверждает, что цифровые двойники выступают не просто технологическим инструментом повышения производственной эффективности, но институциональным фактором, меняющим саму природу труда в промышленности. Их распространение сопровождается переходом от модели, базирующейся преимущественно на выполнении локализованных функций, к модели, в которой возрастает роль интеграции данных, аналитической работы и междофункционального взаимодействия. Это позволяет сформулировать

более общий вывод: реальная эффективность цифровых двойников определяется не только точностью моделей и уровнем развития цифровой инфраструктуры, но и качеством человеческого капитала, способного преобразовывать цифровые данные в устойчивые управленческие и экономические результаты. Именно в этом аспекте кадровое измерение цифровой трансформации должно рассматриваться как одно из центральных направлений дальнейших исследований и практической политики.

Заключение

Проведенное исследование позволяет заключить, что цифровые двойники в условиях Индустрии 4.0 выступают не только технологическим инструментом повышения эффективности, но и фактором трансформации занятости, профессиональных ролей и требований к человеческому капиталу. Их распространение меняет содержание труда, усиливая значимость интерпретации данных, сценарного анализа, межфункциональной координации и принятия решений в цифровой среде. Кадровые последствия внедрения цифровых двойников носят системный характер и требуют самостоятельного научного осмысления.

Влияние цифровых двойников на рынок труда имеет преимущественно качественный характер: происходит не столько прямое вытеснение работников, сколько усложнение профессиональной структуры, перераспределение функций между человеком и цифровой системой и формирование гибридных профилей занятости. На этой основе предложена модель трансформации компетенций персонала, включающая цифровые технические, аналитические и универсальные блоки. Их интеграция формирует профиль интегрированного цифрового эксперта, способного связывать технологическую, информационную и организационную логику предприятия.

Эффективность внедрения цифровых двойников определяется не только наличием инфраструктуры и программных решений, но и способностью персонала использовать их в производственных и управленческих процессах. Человеческий капитал становится ключевым условием реализации потенциала цифровой трансформации. Непрерывное обучение в этих условиях превращается из вспомогательного элемента в стратегический механизм поддержания конкурентоспособности, обеспечивая рост эффективности, производительности, снижение издержек и инновационную активность.

Практическая значимость результатов состоит в возможности их применения при совершенствовании кадровой и образовательной политики. Для предприятий это требует пересмотра подходов к подбору, оценке и развитию персонала, создания систем непрерывного обучения и увязки HR-стратегии с целями цифровой трансформации. Для системы образования подтверждается актуальность междисциплинарных программ, сочетающих инженерные, аналитические и управленческие компоненты, а также развития проектного обучения и дополнительного профессионального образования.

Интерпретация результатов должна учитывать ограничения исследования: использованные материалы фиксируют общее направление цифровой трансформации, но не всегда позволяют изолировать влияние именно цифровых двойников; эмпирическая база преимущественно относится к промышленному сектору, что ограничивает экстраполяцию выводов на другие сферы. Перспективным направлением дальнейших исследований является детальный анализ отраслевых различий и механизмов перераспределения функций между человеком и цифровой системой.

Таким образом, цифровые двойники выступают одним из ключевых драйверов промышленной трансформации, формируя новую конфигурацию требований к персоналу и делая качество человеческого капитала центральным условием устойчивого развития предприятия. Кадровое измерение внедрения цифровых двойников приобретает стратегическое значение для бизнеса, образования и государственной политики, определяя способность экономики адаптироваться к вызовам цифровой эпохи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шваб, К. Четвертая промышленная революция / К. Шваб. — М. : Эксмо, 2016. — 208 с.
2. Росстат. Цифровая экономика : краткий статистический сборник. — М. : Росстат, 2023. — 124 с.
3. НИУ ВШЭ. Цифровая экономика : краткий статистический сборник. — М. : НИУ ВШЭ, 2023. — 120 с.
4. Becker, G. S. Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis / G. S. Becker. — New York : Columbia University Press, 1964. — 187 p.
5. Schultz, T. W. Investment in Human Capital / T. W. Schultz. — New York : Free Press, 1971. — 272 p.
6. Ермашкевич, Н. С. Развитие профессиональных компетенций в условиях цифровой экономики / Н. С. Ермашкевич, М. Л. Панявина, З. В. Родионова // Экономика и управление. — 2020. — № 2. — С. 45–52.
7. Шереметьева, Е. Н. Цифровая экономика: трансформация понятийного аппарата и содержания подготовки кадров / Е. Н. Шереметьева, Е. П. Баринова, В. Г. Ларионов // Вестник университета. — 2019. — № 10. — С. 67–73.
8. Lund, S. The Future of Work in America / S. Lund [et al.]. — New York : McKinsey Global Institute, 2019. — 128 p.
9. McKinsey & Company. Digital Twins: From One Twin to the Enterprise Metaverse. — New York : McKinsey & Company, 2022. — 36 p.
10. Deloitte. The Future of Work: The Augmented Workforce. — London : Deloitte, 2021. — 44 p.
11. World Economic Forum. The Future of Jobs Report 2023. — Geneva : World Economic Forum, 2023. — 163 p.
12. OECD. OECD Skills Outlook 2021: Learning for Life. — Paris : OECD Publishing, 2021. — 287 p.
13. Brynjolfsson, E. The Second Machine Age / E. Brynjolfsson, A. McAfee. — New York : W. W. Norton, 2014. — 306 p.
14. Davenport, T. H. Artificial Intelligence for the Real World / T. H. Davenport, R. Ronanki // Harvard Business Review. — 2018. — Vol. 96, No. 1. — P. 108–116.
15. Söderberg, R. Toward a Digital Twin for real-time geometry assurance in individualized production / R. Söderberg [et al.] // CIRP Annals. — 2017. — Vol. 66, No. 1. — P. 137–140.
16. Negri, E. A review of the roles of Digital Twin in CPS-based production systems / E. Negri, L. Fumagalli, M. Macchi // Procedia Manufacturing. — 2017. — Vol. 11. — P. 939–948.
17. Kritzing, W. Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review / W. Kritzing [et al.] // IFAC-PapersOnLine. — 2018. — Vol. 51, No. 11. — P. 1016–1022.
18. Fuller, A. Digital Twin: Enabling technologies, challenges and open research / A. Fuller [et al.] // IEEE Access. — 2020. — Vol. 8. — P. 108952–108971.
19. Lu, Y. Digital Twin-driven smart manufacturing: Connotation, reference model, applications and research issues / Y. Lu [et al.] // Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. — 2020. — Vol. 61. — P. 101837.
20. Qi, Q. Enabling technologies and tools for digital twin / Q. Qi [et al.] // Journal of Manufacturing Systems. — 2021. — Vol. 58. — P. 3–21.
21. Cimino, C. The role of digital twin in lean production systems / C. Cimino [et al.] // Procedia CIRP. — 2019. — Vol. 83. — P. 216–221.
22. Jones, D. Characterising the Digital Twin: A systematic literature review / D. Jones [et al.] // CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. — 2020. — Vol. 29. — P. 36–52.
23. Macchi, M. Exploring the role of Digital Twin for asset lifecycle management / M. Macchi [et al.] // IFAC-PapersOnLine. — 2018. — Vol. 51, No. 11. — P. 790–795.
24. Soori, M. Digital twin for smart manufacturing, a review / M. Soori, B. Arezoo, R. Dastres //

Sustainable Manufacturing and Service Economics. — 2023. — Vol. 2. — P. 100017.

25. Molter, J. Digital Twins: Review and Outlook / J. Molter [et al.] // atp magazin. — 2021. — Vol. 63, No. 3. — P. 66–73.

The impact of digital twins on the transformation of employment and staff competencies

Smirnov Alexey Pavlovich

Student

Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russian Federation

E-mail: Smalex35@mail.ru

Bryzgalov Alexey Alekseevich

Senior Lecturer

Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russian Federation

E-mail: Bryzgalov.aa@rea.ru

KEYWORDS

digital twins, Industry 4.0, employment structure, staff competencies, human capital, digital economy, labor market

ABSTRACT

The article examines the impact of digital twins on the employment structure and the requirements for the competencies of workers in the industrial sector. Based on the analysis of theoretical approaches: the theory of human capital, the competence approach, the concept of Industry 4.0; statistical data and international analytical reports, the main directions of transformation of professional roles have been identified. The author's competence model is proposed, which includes digital technical, analytical and universal components. The necessity of updating educational programs and HR strategies in the context of digitalization is substantiated. The conclusions about the importance of continuous training and development of integrated digital experts are formulated.
