


<https://doi.org/10.17073/2072-1633-2026-2-1548>

Методологические основы разработки цифрового двойника работника предприятия

Е.В. Орлова  

Уфимский университет науки и технологий,
450076, Уфа, ул. Заки Валиди, д. 32, Российская Федерация

 ekorl@mail.ru

Аннотация. В условиях цифровой трансформации, инновационных изменений и возрастающей неопределенности для обеспечения высокого уровня экономического роста и устойчивого развития экономики возрастает значимость и роль человеческого капитала. Активное использование знаний, когнитивных и креативных способностей человека в качестве основы социально-экономического и технологического развития становится особенностью нового технологического уклада и интеллектуальной экономики. Рассмотрена проблема разработки цифрового двойника работника для целей управления человеческим капиталом предприятия. Предложен подход к построению цифрового двойника работника предприятия, который представляет собой цифровую модель, характеризующую его профиль и поведение на рабочем месте при реализации профессиональных задач, и включает личностные, социальные и поведенческие характеристики работника. Цифровой двойник связан с концепцией индивидуального человеческого капитала как личностных, профессиональных и социальных ресурсов человека, которые определяют его производительность на рабочем месте и могут стать источником дохода. Цифровой двойник работника включает модель оценки человеческого капитала и модель управления индивидуальными карьерными траекториями. Первая модель предназначена для его измерения на основе характеристик качества здоровья, профессиональных и надпрофессиональных компетенций, мотивированности и социальных навыков. Вторая модель использует алгоритмы машинного обучения с подкреплением, формирует оптимальный режим управления и представляет собой последовательный набор программных мероприятий (управленческих решений), направленных на развитие работника с учетом его изменяющихся индивидуальных характеристик. Практическую значимость имеют результаты внедрения цифрового двойника работника, позволяющие в кратчайшие сроки повысить производительность работников и эффективность функционирования предприятия в целом.

Ключевые слова: интеллектуальная экономика; цифровой двойник работника; человеческий капитал; измерение человеческого капитала; управление человеческим капиталом; машинное обучение с подкреплением

Для цитирования: Орлова Е.В. Методологические основы разработки цифрового двойника работника предприятия. *Экономика промышленности*. 2026;19(2):185–196. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2026-2-1548>

Methodological basis for the development of a digital twin of an employee of the company

E.V. Orlova  

Ufa University of Science and Technology,
32 Zaki Validi Str., Ufa 450076, Russian Federation

 ekorl@mail.ru

Abstract. In the context of digital transformation, innovation changes and the growing uncertainty, the significance and role of the human capital are growing to ensure the high level of the economic growth and sustainable development of the economics. The active use of knowledge, human cognitive and creative abilities as the basis of socio-economic and technological development is becoming a feature of the new technological order and intellectual economics.

The article deals with the problem of developing an employee's digital twin to manage the human capital of a company. The author suggests an approach to creating a digital twin of the company employee which is a digital model that characterizes their profile and behaviour at the workplace while fulfilling professional tasks and includes personal, social and behavioral characteristics of the employee. The digital twin is associated with the concept of individual human capital as a person's personal, professional and social resources that determine their productivity in the workplace and can become a source of income. The digital twin of an employee involves a human capital assessment model and a management model for individual career paths. The human capital assessment model is designed to measure it based on the characteristics of health quality, professional and supra-professional competencies, motivation and social skills. The management model uses machine learning algorithms with reinforcement, creates the optimal control mode and represents a consistent set of programmatic measures (management decisions) aimed at employee development, taking into account his changing individual characteristics. The results of the introduction of an employee's digital twin are of high practical importance, as they make it possible to increase employees' productivity and the efficiency of the enterprise as a whole in the shortest possible time.


Keywords: intellectual economy, digital twin of an employee, human capital, measurement of human capital, human capital management, machine learning with reinforcement

For citation: Orlova E.V. Methodological basis for the development of a digital twin of an employee of the company. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2026;19(2):185–196. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2026-2-1548>

企业员工数字孪生开发的方法论基础

E.V. 奥尔洛娃  

乌法科技大学, 450076, 俄罗斯联邦乌法市扎基·瓦利迪街 32 号

 ekorl@mail.ru

摘要: 在数字化转型、创新变革和不确定性增加的背景下, 为了确保经济的高水平增长和可持续发展, 人力资本的重要性和作用不断提高。积极利用个人的知识、认知和创造力作为社会经济和技术发展的基础, 已成为新技术范式和智能经济的特征之一。本文探讨了为企业人力资本管理开发员工数字孪生的问题。提出了一种构建企业员工数字孪生的方法, 即员工数字孪生模型, 描述员工在执行职业任务时的工作行为及其个人资料, 并包含员工的个人特征、社会特征和行为特征。数字孪生与个体人力资本概念相关, 即个人、职业和社会资源, 这些资源决定其工作绩效, 并可能成为收入来源。员工数字孪生包括人力资本评估模型和个性化职业发展路径管理模型。人力资本评估模型旨在基于健康质量特征、职业和超职业能力、动机及社交技能来衡量其价值。管理模型使用强化学习算法, 形成最佳管理模式, 并构成一系列连续的软件措施(管理决策), 旨在根据员工变化的个体特征促进其发展。数字孪生的应用具有实践意义, 可在最短时间内提高员工生产力和企业整体运作效率。

关键词: 智能经济; 员工数字孪生; 人力资本; 人力资本测量; 人力资本管理; 强化学习

Введение

Драйвером инновационного развития предприятий в интеллектуальной экономике становится технология цифровой двойник (ЦД) как виртуальный прототип реальных процессов, изделий, готовых продуктов. Если процессы разработки ЦД технических изделий и объектов уже являются достаточно проработанными [1–3], то проектирование двойников организационных, социальных систем является новой и требующей своего решения задачей. Цифровой двойник работника предприятия представляет собой цифровую мо-

дель, характеризующую его профиль и поведение на рабочем месте при выполнении рабочих задач и процессов. Он включает личностные, социальные и поведенческие характеристики.

Интеллектуальная экономика как новая фаза развития цифровой экономики ориентирована на производство высокотехнологичной продукции, основанной на использовании инновационных решений, при разработке которых знания и информация являются основными ресурсами. Особенностью интеллектуальной экономики является симбиоз основных компонентов эконо-

мической деятельности предприятия – работников как базовых носителей знаний, творческих способностей и деловых навыков; компьютерных программ и технических устройств как основных средств по передаче, хранению, накоплению, обработке и анализу информации, а также социальных групп работников (проектных команд), обеспечивающих разработку и внедрение инновационных решений по всему спектру бизнес-процессов предприятия.

Интеллектуальная экономика имеет следующие характеристики, существенные для предприятий как хозяйствующих субъектов, которые необходимо учитывать при построении систем управления предприятием, в том числе его человеческими ресурсами: 1) модернизируется структура занятости в экономике; 2) определяющим фактором производительности труда являются человеческие ресурсы; 3) изменяются требования к работнику в части его компетенций и социальных навыков, а также условия и характер труда.

Целью работы является разработка методологического подхода к организации процесса проектирования ЦД работника предприятия как сложного социально-экономического объекта, обеспечивающего системный синтез этапов моделирования, инструментария разработки (методов и моделей) и результатов, направленных на достижение целей управления человеческим капиталом на предприятии. Процессы управления человеческим капиталом моделируются с учетом сложных взаимодействий подсистем и бизнес-процессов предприятия, а объект управления описывается набором характеристик, отражающих его основные свойства.

Цифровой двойник работника может являться частью корпоративной системы управления человеческим капиталом. Задачами ЦД работника, изложенными в настоящей работе, является оценка человеческого капитала работника и формирование набора индивидуализированных управленческих решений, направленных на его развитие. Модель включает модель оценки человеческого капитала и модель поддержки принятия решений для планирования индивидуальных карьерных траекторий работников и базируется на методах психодиагностических измерений, алгоритмах машинного обучения с подкреплением.

Обзор литературы

В рамках Индустрии 5.0/6.0 цифровая обработка данных определяется как технология, формирующая цифровую копию физического объекта с использованием данных и моделей в реальном времени. Эта технология может быть

практически полезна, так как обеспечивает автоматизацию процессов, оптимальное и интеллектуальное управление ими. Стремительный рост технологий интернета вещей (IoT), 5G/6G коммуникационных сетей, искусственного интеллекта (ИИ) способствуют развитию ЦД человека, под которым понимается копия физического человека в цифровом мире. Такое развитие обеспечено за счет цепочки «получения–обработки–выдачи информации»:

- сначала информация о человеке, непрерывно получаемая с помощью различных интеллектуальных датчиков (носимых устройств, смартфонов и GPS), переносится в цифровой мир;

- затем база данных обновляется в соответствии с вновь поступившей информацией;

- после этого модель анализирует накопленный массив данных и способна извлекать из нее связи, закономерности, знания и на основе обратной связи предоставлять человеку вновь полученную информацию (диагноз, прогноз, рекомендации).

В работах [4–6] предложено ЦД человека характеризовать в виде модели, которая включает одну или несколько из следующего набора характеристик человека: физических, физиологических, перцептивных, когнитивных, личностных, эмоциональных, этических и поведенческих. Однако в настоящее время исследования ЦД человека находятся на начальной стадии, поскольку отсутствует всесторонний и глубокий анализ универсальных фреймворков, базовых технологий, лежащих в его основе и приложений в разных сферах.

Цифровой двойник человека используется в различных областях, включая медицину, промышленное производство, маркетинг, медиа, социальные коммуникации и др. Цифрового двойника работника можно рассматривать как частный случай новой концепции ЦД человека, которая недавно появилась как новое направление исследований в области технологий двойников как инновационное решение для повышения эффективности и результативности управления персоналом [7]. Отмечается, что технология ЦД обладает большим потенциалом для преобразования системы управления персоналом организаций, позволяет моделировать компетенции и поведение сотрудников в виртуальной среде, исследовать их влияние на принятие стратегических и операционных решений. Отличие новой технологии от предыдущих состоит в возможности получения точной и подробной информации об эффективности сотрудников в режиме реального времени.

В производственной сфере ЦД человека (работника) рассматривается как совокупность профессиональных знаний и поведения на рабочем месте, некоторые исследования фокусируются также на моделировании социального поведения работника. Е. Монтини и др. (E. Montini et al.) [8–9] предложили метамодель ЦД человека для завода, которая включает психологические, физиологические и поведенческие аспекты человека. А. Греко и др. (A. Greco et al.) [10] использовали ЦД для точного фиксирования фактических ошибок при взаимодействии человека с компьютером в производственных условиях, что повысило надежность оборудования и позволило проводить объективные и повторяемые эргономические скрининги, обеспечивая более эффективную и точную оценку по сравнению с традиционными методами. Х. Сан и др. (X. Sun et al.) [11; 12] на основе ЦД человека смогли повысить качество и эффективность сборки деталей.

Д. Ариансы и др. (D. Ariansyah et al.) [13] построили модели ЦД человека на основе данных об уровне усталости человека, в целях более эффективного распределения рабочих задач в ходе выполнения производственных операций. Аль Ассади и др. (Al Assadi et al.) [14] внедрили систему управления персоналом для автоматического обучения и трудоустройства работников, моделируя их поведение и профессиональное поведение. А. Шаротри и др. (A. Sharotry et al.) [15] смоделировали поведение людей, переносящих тяжелые предметы, и оценили риски травмы по степени мышечной усталости и уровню движений при переноске. Модель посредством обучения различным данным об усталости обеспечила более правильное выполнение оператором погрузочно-разгрузочных работ.

В контексте развития технологии блокчейн в работах [16; 17] представлена структура, объединяющая технологию ЦД с оценкой навыков сотрудников для разработки профиля навыков. С точки зрения сигналов рынка труда интегрируются знания о навыках, проясняются возможности оценки и разрабатывается структура ЦД навыков. Предложена технология [18], основанная на эмпирических данных, полученных в результате наблюдений и интервью. Показано, как результаты могут использоваться для проведения предиктивной аналитики, персонализированного развития сотрудников и оптимизации распределения человеческих ресурсов. Исследование [19] проведено в целях разработки модели цифрового опыта сотрудников в иранских банках. Спроектирована модель, включающая шесть компонент – цифровые компетенции, цифровая

организационная культура, цифровая политика, проблемы цифровизации, сотрудники, ориентированные на опыт, и банковское управление. На основе факторного анализа показано влияние цифрового опыта сотрудников на повышение эффективности банковской деятельности.

На российском рынке имеются прототипы ЦД работников. Технологическая компания Merlynn¹, специализирующаяся на ИИ, предлагает обучаемого цифрового двойника человека на основе ИИ как средство повышения продуктивности труда. Создан инструмент, который позволит создавать ЦД и обучать их. В зависимости от уровня подготовки этот двойник сможет выполнять повторяющиеся, рутинные задачи (участие в совещаниях, ведение записок, ответы на вопросы), которым был заранее обучен. Затем ЦД может обобщить все проделанные операции и предоставить отчет сотруднику. В данном случае ИИ дополняет, а не заменяет сотрудника, что позволяет ему уделять больше времени работе, требующей творческих решений.

ПАО «Газпромнефть» в рамках проекта «Цифровой двойник месторождения» тестирует сценарии, в которых виртуальные сотрудники помогают анализировать данные и принимать решения. ПАО «Сбер» разработал платформу SberKnowledge, на которой сотрудники могут обучаться через интерактивные сценарии с ИИ-ассистентами, имитирующими коллег и клиентов. В компании АО «Навигатор»², занимающейся консалтингом и разработками в сфере ИИ, используется инструмент ЦД для оптимизации работы команд и создания персонализированных стратегий развития сотрудников. В НИУ ИТМО разработали прототип ЦД рабочего на производстве, обеспечивающего в режиме реального времени сбор данных о работе сотрудника на производстве в целях предотвращения травм рабочих и поломок техники. С помощью датчиков и программного обеспечения на основе технологий ИИ создан цифровой профиль рабочего и единицы техники на производстве. Разработанная система поддержки принятия решений на основании рекомендаций ИИ ведет автоматический учет рабочего времени, уведомляет рабочих о потенциально опасных зонах. Это помогает избежать несчастных случаев и травм, а также остановки производства.

¹ Clone the expert. Scale the wisdom. Guard the AI. Available at: <https://www.merlynn-ai.com/> (accessed on 20.07.2025).

² Навигатор. Режим доступа: <https://navigat.ru/> (дата обращения: 20.07.2025).

Необходимо отметить, что указанные разработки не включают подробный анализ особенностей человека как объекта моделирования и управления, такие как целеполагание, целенаправленность поведения, возможность сознательного искажения информации, динамичность, рефлексия, ограниченная рациональность. Поэтому необходим подход, который, во-первых, учитывает указанные особенности человека как работника, во-вторых, отражает новые условия цифровой (интеллектуальной) экономики, в-третьих, обеспечивает синтез эффективных управленческих решений, направленных на улучшение производительности работников и эффективности предприятия в целом.

Методология исследования

Предложенный подход к моделированию ЦД работника основан на концептуальной схеме, представленной на рис. 1. На этапе мониторинга индикаторов человеческого капитала осуществляется сбор данных о работниках и их передача в цифровую модель. Затем эта информация анализируется на основе системы специальных методов и алгоритмов, в том числе методов дескриптивного анализа данных, корреляционного и регрессионного анализа и методов машинного обучения с подкреплением. Здесь вырабатыва-

ются стратегии и действия по управлению каждым конкретным работником в соответствии с его характеристиками. На следующем шаге осуществляется оценка эффективности этих действий и решений, после чего эти решения реализуются на практике.

Цифровой двойник определяется как система, состоящая из цифровой модели физического объекта и двусторонних информационных связей с физическим объектом или его компонентами. В основе лежат цифровые модели в виде математических и компьютерных моделей, а также документов, характеризующих структуру, функциональные возможности и поведение объекта. Цифровые модели описывают структуру, функции и поведение физического объекта. Оценка соответствия цифровых моделей физического объекта включает процедуры проверки и валидации математических и компьютерных моделей.

Рассмотрим более подробно содержание и функциональность цифровых моделей – модели обработки данных и модели принятия решений. Модель обработки данных направлена на оценку человеческого капитала работника, а модель принятия решений обеспечивает поддержку управления и выработку решений по профессиональному развитию работника с учетом анализа данных его человеческого капитала.



Рис. 1. Концептуальная схема проектирования цифрового двойника работника

Fig. 1. Conceptual design scheme for a digital twin of a worker

Оценка человеческого капитала. Человеческий капитал рассматривается как совокупность качеств, которые определяют производительность и могут стать источниками дохода для человека. К таким качествам можно отнести здоровье, природные способности, образование, профессионализм, мобильность, мотивацию и вовлеченность, культурно-нравственные ценности и поведенческие (социальные) навыки [20–24].

Для формирования модели оценки человеческого капитала проанализированы существующие подходы и инструменты [20; 25] и показано, что для оценки должны быть комплексно учтены разнородные (качественные и количественные) характеристики: качество здоровья, уровень профессиональных и надпрофессиональных компетенций, мотивированности и социальных навыков. Указанные параметры – структурные составляющие человеческого капитала.

Предложено оценку человеческого капитала работника осуществлять по пяти группам показателей. Первая группа обеспечивает анализ уровня и качества здоровья, вторая и третья направлены на измерение основных и надпрофессиональных компетенций, четвертая оценивает уровень мотивации работника, а пятая группа – коммуникативные навыки и социальный капитал. Обоснование и подробная характеристика этих групп показателей дана в более ранних работах автора [20].

В модель оценки человеческого капитала встроены разнообразные инструменты тестирования, анкетирования работников, решение творческих задач. На вход в модель подается и объективная информация о прохождении специальных медицинских осмотров, собеседований и расчеты индивидуальной ресурсной эффективности труда. По каждой из пяти групп показателей работник может набрать до 1000 баллов, итого по всем группам – до 5000.

Этапы методики оценки человеческого капитала и управления им. Рассмотрим этапы подробнее.

Этап 1. Сбор данных о состоянии здоровья сотрудников, их компетентности, мотивации, социальном статусе и поведенческих навыках. Обследование сотрудников компании проводится по пяти направлениям – качество здоровья (блок 1), основные компетенции (блок 2), надпрофессиональные компетенции (блок 3), мотивация и вовлеченность (блок 4) и поведенческие навыки (блок 5). Методы, используемые на этом этапе: медицинские осмотры, анкетирование и тестирование. Результатом этого этапа является сбор объективных данных о состоянии здо-

ровья сотрудников, возрасте, образовании, профессиональном опыте и компетенциях, а также субъективная информация о состоянии здоровья, его качестве, мотивации, вовлеченности в работу и поведенческих навыках.

Этап 2. Оценка (измерение) человеческого капитала, которая осуществляется по пяти направлениям (блокам оценки). Для этого проводится предварительный анализ данных. Результатом данного этапа является численная оценка индивидуального человеческого капитала сотрудника.

Этап 3. Проектирование управленческих решений по развитию человеческого капитала. Основывается на результатах оценки, полученных на предыдущем этапе. По каждому блоку оценки в зависимости от баллов сотрудник относится к одной из пяти групп, для которых предлагаются дифференцированные управленческие решения. Результатом данного этапа является совокупность решений по формированию индивидуальных траекторий профессионального развития сотрудников по каждому блоку оценки.

Этап 4. Принятие решений. Управленческие решения (мероприятия, программы развития) об индивидуальных траекториях профессионального развития, разработанные на третьем этапе технологии, внедряются на основе результатов, полученных на базе модели управления. Результатом этого этапа является создание алгоритмов реализации управленческих решений по группам сотрудников.

Каждому инструменту оценки экспертно присваивается максимально возможный балл и весовой коэффициент в зависимости от значимости и степени влияния на человеческий капитал. В результате оценивания по всем блокам работник может набрать от 0 до 5000 баллов. Совокупный балл определяется как сумма баллов, набранных по каждому блоку, а внутри блока итоговый балл находится в виде взвешенной суммы баллов по всем измеряемым характеристикам.

Для оценки человеческого капитала проводятся как качественные, так и количественные оценки. Результаты качественного анализа переводятся в балльную систему для удобства формирования общей оценки. В **табл. 1** представлена типовая форма оценки по блоку оценки уровня здоровья. Анкета самооценки здоровья приведена в **табл. 2**.

Организация работы экспертной группы. На этапе оценки наряду с объективной оценкой показателей работников используются экспертные (субъективные) оценки. Конвейер экспертной оценки работников представлен на **рис. 2**.

Таблица 1 / Table 1

Оценка качества здоровья сотрудников
Employee health quality assessment

Группа индикаторов	Характеристика	Номер индикатора	Балл для каждого индикатора		
			5	10	15
1.1. Хронические болезни	Заболевания, которые можно контролировать, но нельзя полностью вылечить	3, 8, 11, 16, 19, 21, 22, 29	Да	Не знаю	Нет
1.2. Плохое самочувствие	Состояние здоровья работника, не позволяющее в полной мере осуществлять трудовую деятельность	1, 9, 10, 13, 14, 17, 27	Да, почти каждый день	Иногда	Нет, я всегда чувствую себя очень бодрым
1.3. Самооценка здоровья как слабого и неудовлетворительного	Общая оценка работником своего здоровья	2, 4, 5, 7, 15, 18, 24, 26, 28	Да	Не знаю	Нет
1.4. Вредные привычки и неправильное питание	Привычки, которые негативно влияют на здоровье сотрудников. Пища, которая исключает вредные или бесполезные вещества из рациона	12, 25, 30, 6, 20, 23	Да	Не знаю	Нет
1.5. Комплексное медицинское обследование	Объективный контроль за состоянием здоровья работниками медицинского учреждения	–	Выявлено более 5 заболеваний, в том числе хронических	Выявлено 1–5 заболеваний	Не выявлено ни одного заболевания

Таблица 2 / Table 2

Фрагмент анкеты самооценки здоровья. Примеры вопросов (индикаторов)
Excerpt from the self-assessment questionnaire. Examples of questions (indicators)

Номер вопроса	Индикатор	Ответ		
		Да	Не знаю	Нет
1	Беспокоит ли вас головная боль?			
2	Вы легко просыпаетесь от любого шума?			
3	Беспокоят ли вас боли в сердце?			
4	Считаете ли вы, что ухудшилось зрение?			
5	Считаете ли вы, что ухудшился слух?			

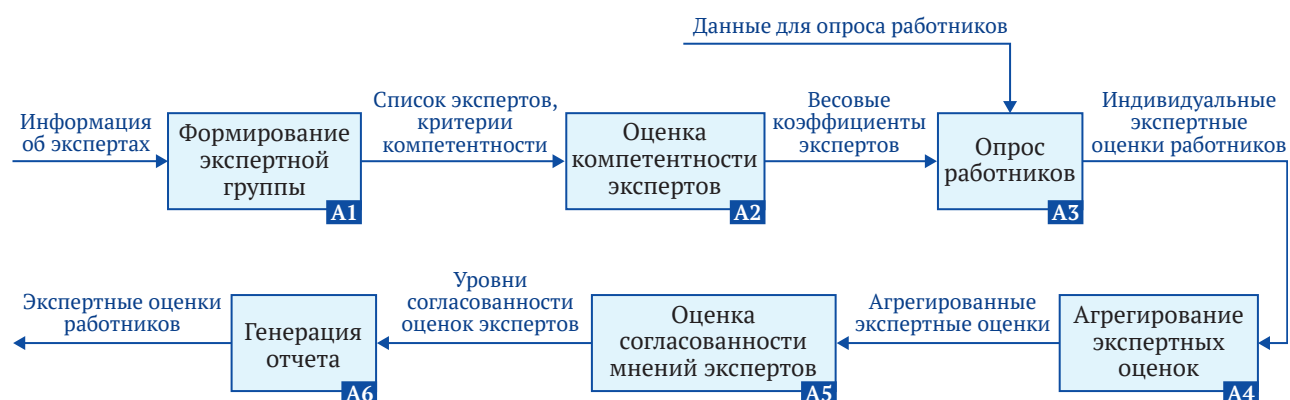


Рис. 2. Конвейер организации работы экспертной группы

Fig. 2. Conveyor for organizing the work of the expert group

На первом шаге выбираются эксперты, имеющие широкий кругозор и знание предметной области, наличие научных трудов и практического опыта, способность решать творческие задачи, независимое мышление, самокритичность. Для задачи оценки человеческого капитала выбираются три эксперта, обладающие всеми перечисленными характеристиками. Уровень компетентности экспертов оценивается по пяти равноважным критериям:

– уровень образования: среднее (1 балл); среднее специальное (2–4 балла); высшее (5–8 баллов); наличие ученой степени (9–10 баллов);

– соответствие профиля образования предметной области (в конкретной сфере деятельности компании): не соответствует (1 балл); не очень соответствует (2–4 балла); более или менее соответствует (5–8 баллов); соответствует (9–10 баллов);

– опыт работы по профилю предметной области: отсутствует (1 балл); небольшой (2–4 балла); не очень большой (5–8 баллов); большой (9–10 баллов);

– административная и экономическая независимость в данной сфере: отсутствует (1 балл); низкая (2–4 балла); средняя (5–8 баллов); высокая (9–10 баллов);

– способность решать творческие задачи и опыт участия в экспертном оценивании: отсутствует (1 балл); низкая (2–4 балла); средняя (5–8 баллов); высокая (9–10 баллов).

Суммарная оценка уровня компетентности осуществляется по формуле средневзвешенной баллов эксперта по пяти критериям (с равными весовыми коэффициентами). Для каждой измеряемой характеристики по каждому работнику в каждом блоке оценки агрегированная групповая экспертная оценка получается на основе расчета средневзвешенной из оценок с учетом весового коэффициента важности эксперта.

Так как при оценке используются показатели, измеренные в количественных шкалах, а сами экспертные оценки по каждому работнику представляют собой статистические вариационные ряды распределения, то оценка согласованности суждений экспертов основывается на использовании понятия компактности, наглядное представление о которой дает статистическая информация о результатах измерений, а также геометрическая интерпретация результатов экспертизы. Оценка каждого эксперта представляется как точка в некотором пространстве, в котором имеется понятие рас-

стояния. Если точки, характеризующие оценки всех экспертов, расположены на небольшом расстоянии друг от друга, т.е. образуют компактную группу, то это можно интерпретировать как хорошую согласованность мнений экспертов. Если же точки в пространстве разбросаны на значительные расстояния, то согласованность мнений экспертов невысокая.

При оценке одного параметра работника все мнения экспертов представлены как точки на числовой оси. Эти точки можно рассматривать как реализации случайной величины, и поэтому для оценки группировки и разброса точек используются статистические характеристики группировки. Центр группировки точек определяется как математическое ожидание (среднее выборочное значение) или как медиана, а разброс количественно оценивается среднеквадратическим отклонением. В качестве меры согласованности оценок экспертов, т.е. компактности расположения точек на числовой оси, используется отношение среднеквадратического отклонения к математическому ожиданию случайной величины. Этот показатель является мерой однородности статистических совокупностей. Критерием согласованности мнений экспертов служит показатель вариации экспертных оценок. Оценки экспертов считаются согласованными, если показатель вариации не превышает 33 %.

Модель поддержки принятия решений. Модель поддержки принятия решений по управлению работником и его карьерной траекторией связана с необходимостью увеличения его человеческого капитала, что, в свою очередь, обеспечивается наращиванием показателей, определяющих его структурные составляющие. С ростом уровня человеческого капитала увеличивается эффективность труда в целом [26].

Выработка управленческих решений основана на методах машинного обучения с подкреплением (RL) [27–29]. Основу модели составляет набор правил принятия решений в соответствии с данными, полученными из модели оценки человеческого капитала.

Решается задача определения набора решений, обеспечивающих рост производительности труда работника, и их последовательность во времени. Решения носят персонифицированный характер и формируют карьерную траекторию работника. Задачей управления на основе методов RL является обеспечение наилучшей из возможных траекторий с позиции роста производительности труда и качества человеческого капитала.

Результаты внедрения цифрового двойника работника на предприятии

В соответствии с предложенной концепцией разработан комплекс моделей для оценки человеческого капитала и принятия решений по формированию карьерной траектории работников. Апробация произведена на крупном промышленном предприятии Республики Башкортостан. В исследовании приняли участие 70 человек научно-производственного подразделения. Все работники прошли полный комплекс исследований их человеческого капитала, затем данные оценки передавались в модель управления и принятия решений. Исходные характеристики работников представлены в табл. 3.

В качестве иллюстрации проектных решений по развитию работников рассмотрены показатели качества здоровья и уровень компетентности работника. В результате модельных экспериментов для каждого работника из обследуемой выборки построены стратегии развития их карьерной траектории. Эти траектории пред-

ставляют собой набор последовательных решений, реализация которых обеспечит рост человеческого капитала.

Для первого испытуемого, обладающего невысоким уровнем здоровья (190 баллов) и низким уровнем базовых компетенций (200) была сформулирована цель – обеспечить высокий уровень качества здоровья (от 400 до 600) и компетенций (выше 800 баллов). Для того чтобы обеспечить достижение такой цели, моделью предложена следующая последовательность решений. На первом этапе необходимо принять меры по улучшению здоровья и достичь уровня от 200 до 400 баллов, на втором этапе необходимо принять решения по наращиванию компетентности до 600–800 баллов, на третьем этапе требуются решения по треку здоровья – нарастить до уровня 400–600 баллов, на четвертом этапе необходимы меры по росту профессионализма до требуемого уровня. Эта последовательность действий может быть представлена в виде матрицы для двух испытуемых (А, Б) 2×2 (рис. 3).

Таблица 3 / Table 3

Результаты анализа оценки человеческого капитала
Results of the analysis obtained from the human capital assessment model

Показатель	Среднее значение	Среднеквадратическое отклонение
Возраст работников, лет	41	5
Уровень здоровья, баллы	564	61
Уровень профессиональных компетенций, баллы	625	43
Уровень надпрофессиональных компетенций, баллы	469	34
Уровень мотивации и вовлеченности, баллы	692	51
Уровень социального капитала	721	20
Индивидуальная производительность труда, руб/чел.	543	62

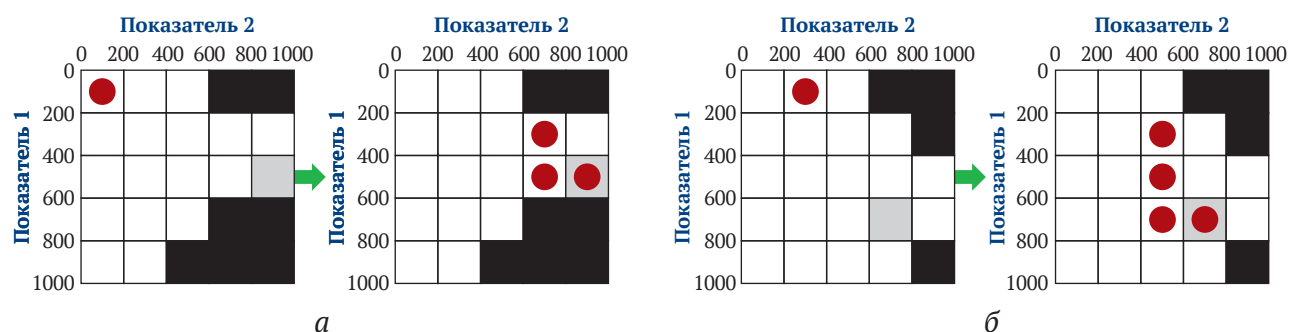


Рис. 3. Карьерные траектории для двух работников: а – А; б – Б. Начальное состояние показателей – круг, конечное (целевое) состояние – серый квадрат, черные затемнения – области ограничений

Fig. 3. Career trajectories for two employees. Initial state of indicators is the red circle, final (target) state is the gray square, and black shades are the constraint areas

Для испытуемого B оптимальная карьерная траектория должна сначала опираться на решения, связанные с ростом его профессионализма до третьего уровня, после чего требуются пошаговые действия, направленные на улучшение качества его здоровья до четвертого уровня, и только после этого необходимы решения, обеспечивающие рост его компетентности до четвертого уровня. Решения, основанные на рекомендуемых моделях действиях, обеспечат рост качества человеческого капитала, что в дальнейшем позволяет увеличить производительность труда.

Заключение

В статье показано, что в отличие от технических систем для систем организационных, характеризующихся проактивностью, самостоятельным целеполаганием, рефлексией и ограниченной рациональностью принятия решений, в настоящее время отсутствуют комплексные подходы к организации рабочего процесса и созданию ЦД. В статье рассмотрен методологический подход к моделированию двойника работника предприятия. Концепция ЦД включает измерение человеческого капитала работника предприятия и последующее управление им, что обеспечит рост его качества, повысит операционную эффективность, инновационность и конкурентоспособность всего предприятия.

Разработана модель измерения человеческого капитала работника предприятия, учитывающая его особенности и факторы формирования. Новизна модели состоит в том, что, во-первых, в ней отражены существенные свойства человеческого капитала, которые формируют условия для его оценки; во-вторых, она базируется на новой схеме оценки человеческого капитала, учитывающей качественные и количественные характеристики человеческого капи-

тала и позволяет осуществить оценку в условиях высокой неопределенности исходных данных; в-третьих, является основой для системы поддержки принятия управленческих решений по формированию индивидуальных траекторий профессионального развития, позволяющей выработать комплекс решений по развитию каждого работника, адекватный его потенциалу здоровья, интеллекта, социальных и карьерных возможностей.

На основе подхода ЦД разработана система поддержки принятия решений по развитию карьеры. Учитывая высокую степень неопределенности, возникающую в управлении человеческим капиталом, двойник учитывает это как на этапе идентификации, так и в процессе его развития за счет оперативного использования различных типов данных, вариативности математического аппарата и методов оценки и интеллектуального управления. Задача управления представлена как последовательный процесс принятия решений с использованием RL. Модель управления предлагает согласованный набор решений, позволяющих разрабатывать траектории профессионального роста, способствуя повышению производительности труда и операционной эффективности предприятия.

Цифровой двойник работника является подсистемой корпоративной системы управления человеческими ресурсами и поддерживает функции управления: 1) обеспечение профессионального роста и развития сотрудников; 2) оценка эффективности работы сотрудников на основе мониторинга их деятельности и разработка мер по повышению производительности; 3) стимулирование мотивации и создание условий для эффективного труда. Это может обеспечить снижение профессиональных рисков и повышению эффективности трудовой деятельности.

Список литературы / References

1. Боровков А.И. Цифровые двойники в условиях четвертой промышленной революции. *CONNECT. Мир информационных технологий*. 2021;(1-2):50–53. Borovkov A.I. Digital Twins in the context of the fourth industrial revolution. *CONNECT. The World of Information Technology*. 2021;(1-2):50–53. (In Russ.)
2. Квинт В.Л., Бабкин А.В., Шкарупета Е.В. Стратегирование формирования платформенной операционной модели для повышения уровня цифровой зрелости промышленных систем. *Экономика промышленности*. 2022;15(3):249–261. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2022-3-249-261> Kvint V.L., Babkin A.V., Shkarupeta E.V. Strategizing of forming a platform operating model to increase the level of digital maturity of industrial systems. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2022;15(3):249–261. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2022-3-249-261>
3. Гвоздяный С.Е., Мясков А.В. Цифровые двойники как ключевой элемент энергетики будущего: связь с теорией длинных волн Кондратьева. *Экономика промышленности*. 2025;18(3):346–357. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2025-3-1463> Gvozdyanyy S.E., Myaskov A.V. Digital twins as a key element of the energy of the future: the connection with Kondratiev's theory of long waves. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2025;18(3):346–357. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2025-3-1463>

4. Shengli W. Is human digital twin possible? *Computer Methods and Programs. Biomedicine Update*. 2021;1:100014. <https://doi.org/10.1016/j.cmpbup.2021.100014>
5. Miller M., Spatz E.A. Unified view of a human digital twin. *Human-Intelligent Systems Integration*. 2022;4:23–33. <https://doi.org/10.1007/s42454-022-00041-x>
6. He Q., Li L., Li D., Peng T., Xiangying Zh., Cai Y., Zhang X., Tang R. From Digital human modeling to human digital twin: Framework and perspectives in human factors. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*. 2024;37(1):9. <https://doi.org/10.1186/s10033-024-00998-7>
7. Lin Y., Chen L., Ali A., Nugent Ch., Cleland I., Li R., Ding J., Ning H. Human Digital Twin: A survey. *Journal of Cloud Computing*. 2024;13(1):131. <https://doi.org/10.1186/s13677-024-00691-z>
8. Montini E., Bettoni A., Ciavotta M., Carpanzano E., Pedrazzoli P. A meta-model for modular composition of tailored human Digital Twins in production. *Procedia CIRP*. 2021;104:689–695. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.116>
9. Cutrona V., Bonomi N., Montini E., Ruppert T., Delinavelli G., Pedrazzoli P. Extending factory Digital Twins through human characterisation in Asset Administration Shell. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. 2023;37(2):1214–1231. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2023.2278108>
10. Greco A., Caterino M., Fera M., Gerbino S. Digital Twin for monitoring ergonomics during manufacturing production. *Applied Sciences*. 2020;10(21):7758. <https://doi.org/10.3390/app10217758>
11. Sun X., Jinsong B., Li J., Zhang Y., Liu Sh., Zhou B. A Digital Twin-driven approach for the assembly-commissioning of high precision products. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 2020;61:101839. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.101839>
12. Tao F., Sun X., Cheng J., Zhu Y. MakeTwin: A reference architecture for digital twin software platform. *Chinese Journal of Aeronautics*. 2024;37(1):1–18. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2023.05.002>
13. Ariansyah D., Buerkle A., Al-Yacoub A., Zimmer M., Erkoyuncu J.A., Lohse N. Towards a digital human representation in an industrial Digital Twin. In: *Proceed. TESConf 2020 – 9th Inter. conf. on through-life engineering services*. Cranfield, UK. October 23, 2020; 2020. 8 p.
14. Al Assadi A., Fries Ch., Fechter M., Siegert B., Ewert D., Schnauffer H.-G., Zürn M., Reichenbach M. User-friendly, requirement based assistance for production workforce using an asset administration shell design. *Procedia CIRP*. 2020;91(2):402–406. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.192>
15. Sharotry A., Jimenez J.A., Wierschem D., Mediavilla F.A.M., Koldenhoven R.M., Valles D., Koutitas G., Aslan S. A Digital Twin framework for real-time analysis and feedback of repetitive work in the manual material handling industry. In: *Proceed. 2020 Winter simulation conf. (WSC)*. Orlando, FL, USA; 2020. P. 2637–2648. <https://doi.org/10.1109/WSC48552.2020.9384043>
16. Freise L., Hupe A. *Transferring Digital Twin technology on employee skills: A framework to support human resources*. Boston, MA, USA: Academy of Management Annual Meeting; 2023. 32 p.
17. Pivnička M., Hruševská D., Hrbáčková L. Introduction of a new flexible human resources planning system based on Digital Twin approach: A case study. *Serbian Journal of Management*. 2022;17:361–373.
18. Anam C., Fadilah M., Rahmawati W. HR Digital Twin: Creating digital employee replication to enhance human resource management. In: *Proceed. 7th Conf. on innovation and application of science and technology (CIASTECH) “Potensi dan Dampak Artificial Intelligence (AI) di Era Society 5.0”*. Universitas Widya Gama, Malang. 2024; 2025. Vol. 7. No. 1. P. 120–28. <https://doi.org/10.31328/ciastech.v7i1.6912>
19. Mosalanejad A., Dalvi M., Aghsi S. Digital employee experience in Iranian banks. *Digital Transformation and Administration Innovation*. 2025;3:1–12.
20. Орлова Е.В. Оценка человеческого капитала предприятия и управление им в условиях цифровой трансформации экономики. *Journal of Applied Economic Research*. 2021;20(4):666–700. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2021.20.4.026>
Orlova E.V. Assessment of the human capital of an enterprise and its management in the context of the digital transformation of the economy. *Journal of Applied Economic Research*. 2021;20(4):666–700. (In Russ.). <https://doi.org/10.15826/vestnik.2021.20.4.026>
21. Квинт В.Л., Власюк Л.И., Новикова И.В., Чхотуа И.З. Оценка человеческого потенциала в стратегировании промышленных регионов России. *Экономика промышленности*. 2025;18(4):459–471. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2025-4-1564>
Kvint V.L., Vlasyuk L.I., Novikova I.V., Chkhotua I.Z. Assessment of human potential in the strategizing of industrial regions of Russia. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2025;18(4):459–471. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2025-4-1564>
22. Жданов Д.А. Онтогенез человеческого капитала предприятия. *Управленческие науки*. 2023;13(1):54–70. <https://doi.org/10.26794/2304-022X-2023-13-1-54-70>
Zhdanov D.A. The ontogenesis of human capital in an enterprise. *Management Sciences*. 2023;13(1):54–70. (In Russ.). <https://doi.org/10.26794/2304-022X-2023-13-1-54-70>
23. Генкин Б.М. *Экономика и социология труда*. М.: Норма; 2007. 448 с.
24. Пришляк Е.А., Радько С.Г. Исследование факторов, влияющих на формирование человеческо-

- го капитала в Российской Федерации. *Управленческие науки*. 2018;8(2):94–105. <https://doi.org/10.26794/2404-022X-2018-8-2-94-105>
- Prishlyak E.A., Rad'ko S.G. Studying the factors affecting the generation of human capital in the Russian Federation. *Management Sciences*. 2018;8(2):94–105. (In Russ.). <https://doi.org/10.26794/2404-022X-2018-8-2-94-105>
25. Orlova E.V. Design of personal trajectories for employees' professional development in the knowledge society under Industry 5.0. *Social Sciences*. 2021;10(11):427. <https://doi.org/10.3390/socsci10110427>
26. Орлова Е.В. Методы и модели анализа данных и машинного обучения в задаче управления производительностью труда. *Программная инженерия*. 2020;11(4):219–229. <https://doi.org/10.17587/prin.11.219-229>
- Orlova E.V. Methods and models of data analysis and machine learning in the problem of labor productivity management. *Software Engineering*. 2020;11(4):219–229. (In Russ.). <https://doi.org/10.17587/prin.11.219-229>
27. Graesser L., Keng W.L. *Foundations of deep reinforcement learning: Theory and practice in python*. Addison-Wesley; 2019. 416 p.
28. Li Y. *Deep reinforcement learning: An overview*. CoRR; 2017. 30 p. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1701.07274>
29. Orlova E.V. Dynamic regimes for corporate human capital development used reinforcement learning methods. *Mathematics*. 2023;11(18):3916. <https://doi.org/10.3390/math11183916>

Информация об авторе

Екатерина Владимировна Орлова – доктор технических наук, профессор кафедры экономики предпринимательства, профессор кафедры биомедицинской инженерии, Уфимский университет науки и технологий, 450076, Уфа, ул. Заки Валиди, д. 32, Российская Федерация; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6535-6727>; e-mail: ekorl@mail.ru

Information about the author

Ekaterina V. Orlova – Dr.Sci. (Eng.), Professor, Department of Economics of Entrepreneurship, Department of Biomedical Engineering, Ufa University of Science and Technology, 32 Zaki Validi Str., Ufa 450076, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6535-6727>; e-mail: ekorl@mail.ru

Поступила в редакцию **15.10.2025**; поступила после доработки **07.06.2026**; принята к публикации **09.06.2026**
Received **15.10.2025**; Revised **07.06.2026**; Accepted **09.06.2026**