

<https://doi.org/10.17073/2072-1633-2024-4-1369>

Индустрия 6.0: сущность, тенденции и стратегические возможности для России

А.В. Бабкин¹ , Е.В. Шкарупета²  

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, литера Б, Российская Федерация

² Воронежский государственный технический университет,
394071, Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84, Российская Федерация

 9056591561@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты систематического исследования Индустрии 6.0, которая представляет собой будущий этап промышленного развития, характеризующий интеллектуально-технологической иммерсивной гиперсвязанностью и физико-когнитивно-эмоциональным слиянием виртуальных (превосходящих цифровые) двойников человека и машин. Проведен литературный обзорный синтез существующих определений Индустрии 6.0, предложено авторское определение и концепт, систематизированы ключевые технологии по шести исследовательским проекциям: интеллектуальная автоматизация, устойчивое развитие, человеко-машинное взаимодействие, информационные технологии и кибербезопасность, машинное обучение, управление человеческими ресурсами. Особое внимание уделено отличительным характеристикам Индустрии 6.0 по сравнению с Индустриями 4.0 и 5.0. В Индустрии 6.0 происходит вездесущное слияние виртуальных двойников человека и машин, что позволяет реализовывать ультраперсонализированное производство и создавать эмоционально-интеллектуальные экосистемы, в том числе с помощью квантовых технологий. Обсуждаются возможности реализации Индустрии 6.0 в России на основе национальных стратегий по экономике данных, технологическому суверенитету и программе «Технет» Национальной технологической инициативы. Ограничения исследования связаны с футуристическим характером концепции Индустрии 6.0, отсутствием достаточной эмпирической базы и ограниченным количеством актуальных научных публикаций. Направления дальнейших исследований могут включать разработку практических моделей для интеграции интеллектуальных экосистем Индустрии 6.0 в российские производственные и технологические секторы. Особое внимание следует уделить разработке методик оценки экономического и социального эффекта от внедрения ключевых технологий, таких как мультиагентные системы, квантовые вычисления и эмоциональный интеллект машин, а также исследованию путей их адаптации в рамках национальных стратегий технологического суверенитета и экономики данных.

Ключевые слова: Индустрия 4.0, Индустрия 5.0, Индустрия 6.0, интеллектуальная экономика, интеллектуальная экосистема, промышленный футуризм, технологический суверенитет, устойчивое развитие, виртуальный двойник, экономика данных

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 23-28-01316).

Для цитирования: Бабкин А.В., Шкарупета Е.В. Индустрия 6.0: сущность, тенденции и стратегические возможности для России. *Экономика промышленности*. 2024;17(4):353–377. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2024-4-1369>

Industry 6.0: the essence, trends and strategic opportunities for Russia

A.V. Babkin¹ , E.V. Shkarupeta²  

¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
29B Polytechnicheskaya Str., St. Petersburg 195251, Russian Federation

² Voronezh State Technical University,
84 20-letiya Oktyabrya Str., Voronezh 394071, Russian Federation

 9056591561@mail.ru

Abstract. The article presents the results of a systematic study of Industry 6.0 which is the future stage of industrial development characterized by intelligent and technological immersive hyperconnection and physical-cognitive-emotional fusion of virtual (superior to digital) twins of humans and machines. The authors carry out a literary review synthesis of the existing definitions of Industry 6.0, suggest the authors' definition and concept, systematize key technologies by six research projections: intelligent automation, sustainable development, human-machine interaction, information technologies and cybersecurity, machine learning, human resource management. Special attention is paid to the distinctive features of Industry 6.0 compared to Industries 4.0 and 5.0. Industry 6.0 involves the ubiquitous fusion of virtual twins of humans and machines that allows implementing ultrapersonalized production and create emotionally intelligent ecosystems, often with the help of quantum technologies. The authors discuss the opportunities of implementing Industry 6.0 in Russia basing on the national strategies on the data economics, technological sovereignty and the 'Technet' program of the National Technological Initiative. The limitations of the study are connected with the futuristic nature of Industry 6.0 concept, lack of sufficient empiric base and limited amount of relevant scientific publications. The directions of further research may include development of practical models for the integration of intelligent ecosystems of Industry 6.0 into Russian production and technology sectors. Special attention should be paid to the development of the methods for assessment of economic and social effect from the implementation of the key technologies such as multiagent systems, quantum computing and the emotional intelligence of machines as well as to the study of the ways of their adaptation within the national strategies of technological sovereignty and the economics of data.

Keywords: Industry 4.0, Industry 5.0, Industry 6.0, intelligent economics, intelligent ecosystem, industrial futurism, technological sovereignty, sustainable development, virtual twin, economics of data

Acknowledgements: The study has been carried out at the expense of the Russian Scientific Foundation (project No. 23-28-01316).

For citation: Babkin A.B., Shkarupeta E.V. Industry 6.0: the essence, trends and strategic opportunities for Russia. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2024;17(4):353–377. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2024-4-1369>

工业 6.0：本质、趋势及俄罗斯的战略机遇

A.V. 巴布金¹ , E.V. 什卡鲁佩塔²  

¹ 圣彼得堡彼得大帝理工大学, 195251, 俄罗斯联邦圣彼得堡综合技术大街29号B楼

² 沃罗涅日国立技术大学, 394071, 俄罗斯联邦沃罗涅日十月革命20周年纪念大街84号

 9056591561@mail.ru

摘要：本文介绍了对工业 6.0 的系统研究结果。工业 6.0 是工业发展的未来阶段，其特点是智能-技术沉浸式超级互联以及人机虚拟孪生（优于数字孪生）的物理-认知-情感融合。对现有的工业 6.0 定义进行了文献综述，提出了作者的定义和概念，并将关键技术系统化为六个研究课题：智能自动化、可持续发展、人机交互、信息技术与网络安全、机器学习、人力资源管理。特别关注工业 6.0 区别于工业 4.0 和 5.0 的显著特征。在工业 6.0 中，人类和机器的虚拟孪生无处不在，从而可以实现超个性化生产和创建情感智能生态系统，包括借助量子技术。在数据经济、

технологическую и государственную поддержку. В рамках технологической и государственной поддержки Technet-плана на основе стратегии государства, обсуждается возможность реализации в России промышленной 6.0. Возможности. Ограничения исследования в отношении будущей концепции 6.0, отсутствия достаточной эмпирической базы и публикаций в области. Исследования в области могут включать разработку модели, интеграцию 6.0 в экосистему российской промышленности и технологий. Следует уделять особое внимание оценке влияния искусственного интеллекта, квантовых вычислений и эмоциональных машин на экономическую и социальную ситуацию, а также исследовать возможности адаптации к этим технологиям в рамках государственной технологической и экономической стратегии.

Ключевые слова: промышленная 4.0, промышленная 5.0, промышленная 6.0, экономика, экосистема, будущее, технологическая, устойчивое развитие, виртуальная реальность, экономика данных

Благодарности: Исследование поддержано Российским научным фондом (номер проекта 23-28-01316) для финансирования.

Введение

Активно изучая Промышленность 4.0 [1; 2] и Промышленность 5.0 [3–6] в течение более восьми лет, к концу 2024 г. авторы данной статьи начинают постепенно «прощупывать пульс» новой парадигмы – Промышленности 6.0. Пока этот пульс едва ощутим, очень слабый. Однако нет сомнений, что научная дискуссия, посвященная будущей Промышленности 6.0, постепенно выйдет в авангард экономики промышленности. Интерес к этой концепции подогревается деятельностью таких ключевых фигур как:

– Ф. Котлер (Ph. Kotler) – гурзу маркетинга, в конце 2023 г. представившего видение Маркетинга 6.0 как иммерсивного будущего в эволюции от цифрового мультимаркетинга 4.0 [7], через интеллектуальный омнимаркетинг 5.0 [8] к метамаркетингу 6.0 [9];

– Э. Караянис (E. Karayannis) – автор концепций четверной [10] и пятерной инновационных спиралей [11], развивающей концепцию тройной спирали авторства Л. Лейдесдорфа и Х. Эцковича (L. Leydesdorff, H. Etzkowitz). [12] и в начале 2024 г. усовершенствовавшего пентаспираль интеллектуальной ИИ-составляющей (ИИ – искусственный интеллект) в эволюции к Промышленности 6.0 и Обществу 6.0 как умному балансу между технологическим и человекоцентризмом [13; 14];

– научными сотрудниками лабораторий Сколтеха [15], наукограда Дубна [16] и проведением первой международной научно-практической конференции по Промышленности 6.0¹.

Безусловно, работы по теме Промышленности 6.0 начали появляться и ранее, примерно начиная с 2015 г. [17–19]. Многие авторы стремятся закрепить за собой научное первопроходство и обеспечить высокую цитируемость, привлекая внимание к этой теме, подобно тому, как компания Gartner обозначает интерес к прорывным технологиям

с помощью кривой хайпа². Несмотря на некую футуристичность подобных исследований, они крайне важны, поскольку помогают «приблизить будущее», дать ему осязаемый образ и сформировать стратегические ориентиры и научно-технологические прогнозы. Некоторые исследователи предпочитают действовать осторожно, разделяя текущую Промышленность 5.0 на первую и вторую волны, описывая гибридные, коэволюционные индустрии [20], или вводя понятия Промышленности X.0, X.Y. [21], предполагая дальнейшую эволюцию.

Экзистенциальные кризисы, резкое ускорение научно-технического прогресса, экспоненциальный рост объемов информации и данных, волатильная среда, высокая энтропия, VUCA-BANI-TUNA-SHIVA-миры³ – все это атрибуты реальности, в которой приходится выбирать между стратегиями дрейфа и/или дрифта⁴.

² Gartner 2024. Hype cycle for emerging technologies highlights developer productivity, total experience, AI and security. STAMFORD, Conn., August 21, 2024. Available at: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2024-08-21-gartner-2024-hype-cycle-for-emerging-technologies-highlights-developer-productivity-total-experience-ai-and-security> (accessed on 18.10.2024).

³ VUCA (Volatility, Uncertainty, Complexity, Ambiguity) – мир нестабильности, неопределенности, сложности и двусмысленности; BANI (Brittle, Anxious, Nonlinear, Incomprehensible) – хрупкий, тревожный, нелинейный, непостижимый мир; TUNA (Turbulent, Uncertain, Novel, Ambiguous) – турбулентный, неопределенный, новый, неоднозначный мир; SHIVA (Split, Horrible, Inconceivable, Vicious, Arising) – расколотый, ужасающий, невообразимый, беспощадный и возрождающий.

⁴ Стратегия дрейфа – пассивное приспособление к изменениям в окружающей среде без активного управления процессами. Пример: промышленная экосистема принимает цифровые стандарты, навязанные глобальными корпорациями, и ограничивается использованием готовых решений, таких как внедрение IoT для мониторинга производственных процессов, без создания собственных инноваций или активного влияния на рынок.

Стратегия дрифта – активное управление изменениями и использование их для достижения целей, адаптации и создания конкурентных преимуществ. Пример: промышленная экосистема разрабатывает платформу промышленного симбиоза, где предприятия интегрируют ресурсы, отходы и технологии в замкнутый цикл, создавая уникальные цифровые стандарты и продвигая устойчивое развитие и экономическую независимость.

¹ 5th International Conference on Communication, Computing & Industry 6.0 – 2024 (C2i6-2024), 6–7 Dec., 2024. Organized by CMR Institute of Technology, Bengaluru-560037. Available at: <https://sites.google.com/cmrit.ac.in/c2i6-2024/home> (accessed on 18.10.2024).

Чтобы оставаться на месте, приходится бежать в несколько раз быстрее. Однако в этой гонке крайне важно сохранить биотические связи в экономической экосистеме, не потерять смысл, главную цель, позволяющую найти баланс между прошлым, настоящим и будущим, развитием и устойчивостью, суверенитетом и глобализацией, технооптимизмом и человекоцентричностью, инновациями и экоинновациями, конкуренцией и сотрудничеством, экономической эффективностью и ценностью для будущих поколений.

По мнению академика В.Л. Квинта и его учеников, в России заложена прочная стратегическая основа для реализации инновационных инициатив [22; 23], в том числе и будущей Индустрии 6.0. Технологический суверенитет и цифровая трансформация признаны в качестве национальных целей развития до 2036 г.⁵ Утверждены «Стратегия научно-технологического развития»⁶, «Концепция технологического развития на период до 2030 г.»⁷ и «Национальная стратегия развития искусственного интеллекта до 2030 г.»⁸. Анонсирован новый национальный проект «Экономика данных и цифровая трансформация государства» на 2025–2030 гг.⁹ Формируются и развиваются новые отрасли, такие как промышленный майнинг, квантовые коммуникации, гражданские беспилотные летательные аппараты (БПЛА) и др. В настоящее время Минэкономразвития России реализует

10 дорожных карт по высокотехнологичным направлениям¹⁰.

Целью исследования является формирование концептуального абриса будущей Индустрии 6.0.

Основные задачи исследования:

- выявление существующих определений Индустрии 6.0 и формулирование авторского определения;

- систематизация ключевых технологий Индустрии 6.0;

- анализ эволюции и отличий Индустрии 6.0 от предыдущих этапов, таких как Индустрия 5.0 и Индустрия 4.0.

В исследовании использованы методы систематического обзора, литературного синтеза, а также наукометрического и библиографического анализа с применением таких инструментов, как Dimensions, VOSviewer, ChatGPT 4.0, Biblioshiny и Polyanalyst.

Литературный обзор определений Индустрии 6.0

Для решения задачи выявления существующих определений и авторского осмысления концепции Индустрии 6.0 был проведен систематический литературный обзор. Поиск публикаций осуществлялся в базе данных Dimensions с использованием ключевых слов «Industry 6.0» в названиях и аннотациях, что позволило выявить 54 публикации на дату 10 октября 2024 г.

На **рис. 1** представлены исследовательские категории, в которых было опубликовано больше всего работ, связанных с Индустрией 6.0. Видно, что наибольшее количество публикаций приходится на области информационных и вычислительных наук, инженерии, а также бизнеса и управления.

На **рис. 2** показана динамика публикаций по годам, где отчетливо прослеживается стремительный рост интереса к данной теме, особенно начиная с 2022 г. при пике в 2024 г.

Рис. 3 демонстрирует рост количества цитирований этих публикаций, что подтверждает возрастание внимания со стороны научного сообщества к концепции Индустрии 6.0.

На **рис. 4** представлен анализ соавторства ученых, который выявил основные исследовательские сети, занимающиеся данной проблематикой.

⁵ Указ Президента РФ от 07.05.2024 № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года». Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50542> (дата обращения: 18.10.2024).

⁶ Указ Президента РФ от 28.02.2024 № 145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации». Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50358> (дата обращения: 18.10.2024).

⁷ Распоряжение Правительства РФ от 20.05.2023 № 1315-р «Об утверждении Концепции технологического развития на период до 2030 года». Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1301657597> (дата обращения: 18.10.2024).

⁸ Указ Президента РФ от 10.10.2019 № 490 (ред. от 15.02.2024) «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» (вместе с «Национальной стратегией развития искусственного интеллекта на период до 2030 года»). Режим доступа: <https://legalacts.ru/doc/ukaz-prezidenta-rf-ot-10102019-n-490-o-razviti/> (дата обращения: 18.10.2024).

⁹ Перечень поручений по реализации Послания Президента Федеральному Собранию. 30 марта 2024 г. Режим доступа: <http://kremlin.ru/acts/assignments/orders/73759> (дата обращения: 18.10.2024).

¹⁰ Развитие новых высокотехнологичных отраслей. Департамент стратегического развития и инноваций. Режим доступа: https://www.economy.gov.ru/material/departments/d01/razvitiye_novykh_vysokotekhnologichnyh_otrasley/ (дата обращения: 18.10.2024).



Рис. 1. Исследовательские категории

Источник: экспортировано из Dimensions 10 октября 2024 г., критерии: «Индустрия 6.0» в названии и аннотации.
Режим доступа: <https://app.dimensions.ai>

Fig. 1. Research categories

Source: exported from Dimensions in October 10, 2024, criteria: “Industry 6.0” in the title and abstract.
Available at: <https://app.dimensions.ai>

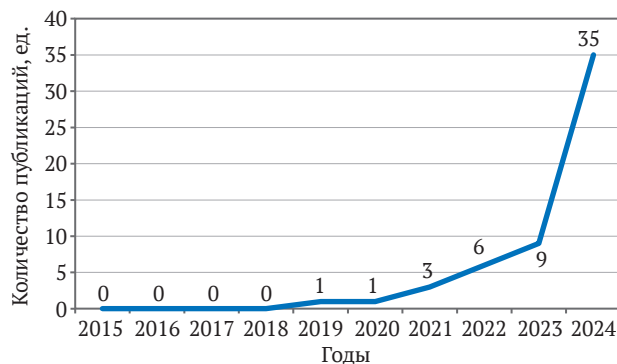


Рис. 2. Общее количество публикаций по годам

Источник: экспортировано: 10 октября 2024 г.,
критерии: «Индустрия 6.0» в названии и аннотации.
Режим доступа: <https://app.dimensions.ai>

Fig. 2. Total number of publications by year
Source: exported: October 10, 2024, criteria:
“Industry 6.0” in the title and abstract.
Available at: <https://app.dimensions.ai>

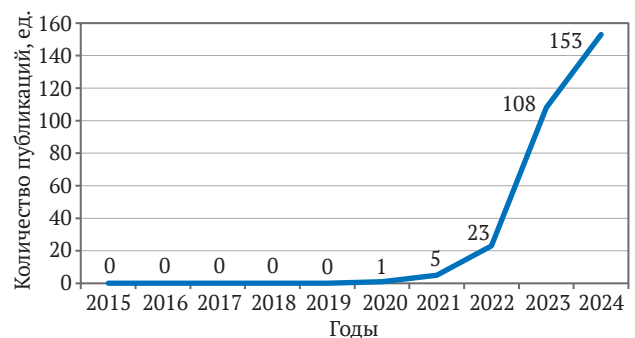


Рис. 3. Цитирование публикаций в БД Dimensions

Источник: экспортировано: 10 октября 2024 г.,
критерии: «Индустрия 6.0» в названии и аннотации.
Режим доступа: <https://app.dimensions.ai>

Fig. 3. Citations of publications by other publications
in the Dimensions database

Source: exported: October 10, 2024, criteria:
“Industry 6.0” in the title and abstract.
Available at: <https://app.dimensions.ai>

Окончательная выборка для анализа составила 52 публикации. Далее каждый из этих источников был проанализирован с использованием модели генеративного интеллекта ChatGPT 4.0.

Результаты анализа позволили выделить следующие исследовательские проекции, связанные с Индустрией 6.0:

1. Интеллектуальная автоматизация и производственные системы в Индустрии 6.0 – исследования, нацеленные на автоматизацию и улучшение

производственных процессов с применением ИИ, создание автономных систем¹¹ для «умных» фабрик и роботизированных линий (табл. 1).

¹¹ В данном контексте автономные системы – это комбинированные системы, которые достигают определенных целей без вмешательства человека. Они используют различные методы ИИ для выявления закономерностей в окружающей среде, принятия решений, выполнения последовательности действий и генерации результатов (прим. авт.).

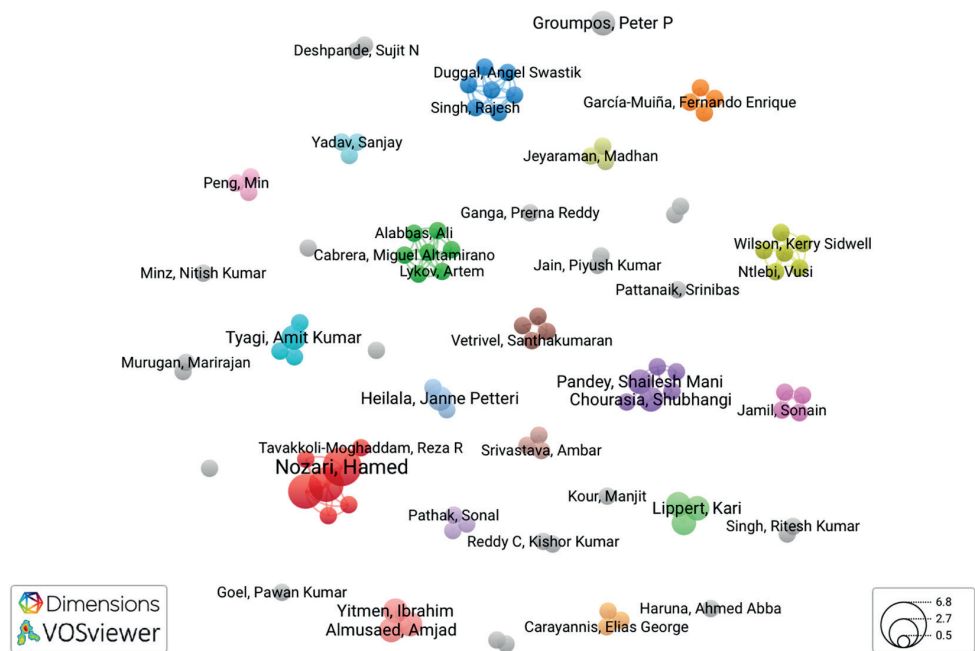


Рис. 4. Анализ исследовательских сетей и соавторства
(родство исследователей определяется по количеству их публикаций в соавторстве)
Источник: экспортировано: 10 октября 2024 г., критерии: «Индустрия 6.0» в названии и аннотации, исследователи: 119 чел.; ссылки на соавторство: 195; всего соавторств: 211; кластеры: 38.
Режим доступа: <https://app.dimensions.ai>

Fig. 4. Analysis of research networks and co-authorship
(the relationship of researchers is determined by the number of their publications in co-authorship)
Source: exported: 10 October 2024, criteria: “Industry 6.0” in title and abstract, researchers: 119, co-authorship references: 195, total co-authorships: 211, clusters: 38. Available at: <https://app.dimensions.ai>

Таблица 1 / Table 1

Интеллектуальная автоматизация и производственные системы в Индустрии 6.0
Intelligent automation and manufacturing systems in Industry 6.0

Источник	Определение	Ключевые технологии	Отличия
[13]	Индустрия 6.0 рассматривается как переход к более комплексной и технологически ориентированной инновационной модели с использованием ИИ	ИИ, квантовая обработка данных, цифровая трансформация	В отличие от предыдущих индустрий, Индустрия 6.0 ориентируется на симбиоз технологий и человеческих ценностей, с акцентом на общественные интересы и стратегическое управление
[15]	Индустрия 6.0 представляет полностью автоматизированную производственную систему, основанную на генеративном ИИ и рое разнородных роботов	Генеративный ИИ, рой гетерогенных роботов, манипуляторы, дроны, 3D-принтеры	Полностью автономные производственные процессы, минимальное участие человека, использование генеративного ИИ для проектирования и сборки продуктов, что отличает ее от предыдущих индустрий, полагавшихся на человеческую экспертизу
[24]	Индустрия 6.0 представляет собой эволюцию «умных фабрик», ориентированных на максимизацию эффективности, гибкости и адаптивности производства	ИИ, Интернет вещей (IoT), цифровые двойники, умная автоматизация	Более высокая степень интеграции (конвергенции*) автоматизированных систем, улучшенная адаптивность и персонализация производственных процессов

* В данном контексте интеграцией является объединение различных инфраструктурных сервисов и элементов на простейшем, горизонтальном уровне (например, с использованием кабелей CAT5 или Ethernet). В конвергентной системе обмен данными осуществляется как на горизонтальном, так и на вертикальном уровне – автономные элементы интегрированной системы объединяются с помощью единой коммуникационно-цифровой платформы (прим. авт.).

Окончание табл. 1 / End of Table 1

Источник	Определение	Ключевые технологии	Отличия
[25]	Полностью автономное производство, ориентированное на устранение человеческого фактора и массовую кастомизацию	ИИ, IoT, кибербезопасность, автономное производство	Полная автономия без участия человека, акцент на персонализацию и автоматизацию на основе интеллектуальных систем
[26]	Продвинутые бизнесы в условиях Индустрии 6.0 фокусируются на ультраумных концепциях для повышения эффективности и взаимодействия в различных отраслях	«Умные» фабрики, интеллектуальные цепочки поставок, суперумные предприятия	Усиленное использование смарт-технологий в бизнесе, упор на оптимизацию процессов и глобальные цепочки поставок
[27]	Индустрия 6.0 строится на основах автоматизации промышленных систем с учетом возможных будущих пандемий, использованием технологий IoT и ИИ	IoT, промышленные протоколы MQTT и CoAP, глубокое обучение, автоматизация	Переход к полностью автоматизированным производственным системам, где работа контролируется удаленно, минимизируя взаимодействие человека и машины, с повышенным уровнем безопасности благодаря ИИ
[28]	Индустрия 6.0 основана на применении ИИ и IoT	ИИ, IoT, цифровые двойники, обработка данных на краю (Edge Computing)	Углубленная интеграция (конвергенция) цифровых двойников и IoT для улучшения устойчивости производства, повышение автоматизации процессов и мониторинга в реальном времени
[29]	Индустрия 6.0 определяет новую парадигму слияния ИИ и машинного обучения для адаптивных промышленных процессов	ИИ, машинное обучение, предсказательное обслуживание, персонализированное производство	Углубленная интеграция (конвергенция) ИИ и машинного обучения для адаптивных процессов и персонализированного производства, акцент на этические вопросы и необходимость рескиллинга сотрудников
[30]	Индустрия 6.0 основана на синергии ИИ, IoT и анализа данных для оптимизации процессов и повышения производительности	ИИ, промышленный Интернет-вещей (IIoT), анализ данных, предиктивная аналитика	Тесная интеграция IoT и ИИ для повышения производственной эффективности, усиленное использование больших данных и предиктивной аналитики, что отличает от более традиционных подходов
[31]	Индустрия 6.0 представляет собой следующую ступень индустриальной автоматизации, опирающуюся на ИИ, квантовые вычисления и нанотехнологии для создания полностью автономных систем	ИИ, киберфизические системы, квантовые вычисления, нанотехнологии	Интеграция квантовых вычислений и ИИ для создания автономных систем, что отличает ее от предыдущих индустрий, использовавших более простые цифровые и автоматизационные технологии
[32]	Индустрия 6.0 фокусируется на переходе от традиционных к интеллектуальным компаниям через интеграцию данных и технологий	ИИ, IoT, машинное обучение, глубокое обучение, умные системы и автоматизация	Интеграция умных систем и IoT для достижения устойчивого роста и экологичной индустриализации, акцент на человекоориентированную технологию и использование интеллектуальных систем
[33]	Индустрия 6.0 связана с интеграцией ИИ в производственные процессы, направленные на адаптивное производство и предсказательное обслуживание	ИИ, прогнозирование, оптимизация качества, автономные системы	Индустрия 6.0 ставит на первое место использование ИИ и автономных систем для повышения производительности, в отличие от предыдущих этапов, ориентированных на автоматизацию и цифровизацию

Таблица 2 / Table 2

Устойчивое развитие и «зеленые» технологии в Индустрии 6.0
Sustainability and green technologies in Industry 6.0

Источник	Определение	Ключевые технологии	Отличия
[34]	Индустрия 6.0 в области борьбы с изменением климата использует интеллектуальные системы для смягчения последствий и адаптации к изменению климата	ИИ, прогнозирование рисков, модели климатических сценариев, автоматизированные стратегии адаптации	Интеграция интеллектуальных систем для устойчивости к изменению климата, акцент на моделировании и адаптации на основе данных, направленная на поддержку глобальных стратегий устойчивого развития
[35]	Индустрия 6.0 использует стратегический взгляд геоантропологии для достижения системной устойчивости, рассматривая взаимодействие между природой и производством	Цифровизация, инновации, системная устойчивость, геоантропологический анализ	Геоантропологический подход к производственным процессам, внимание к устойчивости и балансу между потреблением ресурсов и экологической безопасностью, в отличие от предыдущих индустриальных этапов
[36]	Индустрия 6.0 направлена на устойчивое будущее через интеграцию новых технологий для повышения эффективности и уменьшения воздействия на окружающую среду	Цифровизация, автоматизация, устойчивость производства	Индустрия 6.0 уделяет большое внимание экологической устойчивости, что отличается от предыдущих этапов, сосредоточенных на чисто экономических и производственных факторах
[37]	Индустрия 6.0 направлена на создание умных и устойчивых построек, используя цифровые технологии и экологические подходы	Большие данные, IoT, коллаборативные роботы, кибербезопасность	Углубленная интеграция (конвергенция) технологий для повышения устойчивости и экологической эффективности строительства, фокус на взаимодействие между людьми и роботизированными системами
[38]	Рост выбросов парниковых газов в малых государствах, как важный фактор в Индустрии 6.0, требует внимания к устойчивому развитию энергетического сектора	Умные энергетические системы, управление выбросами, климатические технологии	Индустрия 6.0 отличается от предыдущих этапов тем, что акцентируется на устойчивом развитии и снижении углеродного следа, особенно в малых государствах и развивающихся странах
[39]	Индустрия 6.0 ориентирована на глобальную устойчивость и интеграцию новых технологий для решения экологических проблем	Массовая персонализация, нулевая ошибка производства, антихрупкость, виртуальный цифровой двойник	Акцент на глобальной устойчивости, технологии направлены на минимизацию экологического ущерба и оптимизацию процессов с помощью ИИ
[40]	Индустрия 6.0 фокусируется на устойчивом инновационном развитии с применением новейших технологий для бизнеса	«Зеленые» технологии, устойчивое развитие, управление инновациями	Интеграция устойчивого развития и экологических стандартов в бизнес-практики с использованием ИИ и IoT
[41]	Индустрия 6.0 включает инновационные методологии проектирования для оптимизации производственных процессов на европейском уровне	Аксиоматический дизайн, цепочки поставок, модели выбора поставщиков, устойчивые стратегии	Использование более сложных многоуровневых моделей для оптимизации производственных и управленческих процессов на основе устойчивых стратегий
[42]	Индустрия 6.0 является ответом на вызовы пандемии COVID-19 и ориентируется на устойчивое производство с использованием ИИ и IIoT	ИИ, IIoT, персонализация производства	Использование передовых технологий, таких как ИИ и IIoT для создания более устойчивой и адаптивной среды производства
[43]	Индустрия 6.0 и смарт-банкинг направлены на устойчивую революцию, сочетая технологии и финансы для достижения «зеленого» развития	Смарт-банкинг, «зеленые» технологии, устойчивость	Акцент на интеграцию устойчивых технологий в финансовую систему, что позволяет достичь экологических целей и улучшить управление данными в рамках умного банкинга

2. Устойчивое развитие и «зеленые» технологии в контексте Индустрии 6.0 – исследования, акцентирующие внимание на экологической устойчивости, интеграции «зеленых» технологий и снижении негативного воздействия на окружающую среду, экологически чистых производственных процессах (табл. 2).

3. Человеко-машинное взаимодействие, этика и эмоциональный интеллект в Индустрии 6.0 – исследования, направленные на изучение взаимодействия человека и машины, использование эмоционального интеллекта и гуманизацию технологий, создание симбиотических систем (табл. 3).

4. Информационные технологии и кибербезопасность в Индустрии 6.0: исследования, которые рассматривают вопросы кибербезопасности, защиты данных и цифровизации, обеспечения безопасности и эффективности в условиях цифровой трансформации (табл. 4).

5. Машинное обучение и ИИ в различных секторах Индустрии 6.0 – исследования, направленные на применение ИИ и машинного обучения в различных отраслях, таких как финансы, здравоохранение, маркетинг и др. (табл. 5).

6. Управление человеческими ресурсами и организационные изменения в Индустрии 6.0 – исследования, посвященные цифровизации процессов управления человеческими ресурсами помощью ИИ, адаптации организаций к новым вызовам (табл. 6).

Результаты анализа шести исследовательских проекций к Индустрии 6.0 выявляют ключевые научные тренды, касающиеся внедрения новых технологий, экологической устойчивости и трансформации взаимодействия человека и машин в контексте интеллектуально-технологической иммерсивной гиперсвязанности.

Таблица 3 / Table 3

Человеко-машинное взаимодействие, этика и эмоциональный интеллект в Индустрии 6.0

Human-machine interaction, ethics and emotional intelligence in Industry 6.0

Источник	Определение	Ключевые технологии	Отличия
[44]	Индустрия 6.0 ориентирована на человеко-машинный симбиоз и гуманизацию технологий	Управление и автоматизация, симбиотические технологии, устойчивые модели экономики	Более глубокая интеграция (конвергенция) гуманизированных технологий, акцент на устойчивости и автоматизации для благосостояния всех форм жизни
[45]	Индустрия 6.0 основывается на концепции этического ИИ, направленного на глобальную культурную когерентность и моральную ответственность	Этический ИИ, когнитивная революция, глобальная культурная когерентность, нео-Аристотелевская добродетельная этика	Акцент на этическом ИИ и мудрости, направленных на глобальную когерентность и моральную устойчивость
[46]	Индустрия 6.0 в метавселенной сосредоточена на интеграции ИИ и человеко-машинных систем для создания нового уровня производственной кооперации	ИИ, метавселенная, человеко-машинные системы, когнитивная дополненная реальность, высокочастотные устройства	Глубокая интеграция (конвергенция) ИИ и человеческого поведения в производственные процессы, использование метавселенной и дополненной реальности для повышения производственной эффективности и безопасности
[47]	Индустрия 6.0 использует эмоциональный интеллект для усиления сотрудничества между человеком и машиной, создавая новые возможности для креативности и синергии	Эмоциональный интеллект, человеко-машинное взаимодействие, принятие решений на основе ИИ	Упор на использование эмоционального интеллекта для улучшения взаимодействия между человеком и машиной, что отличает ее от предыдущих индустрий, сосредоточенных на механической автоматизации и роботизации
[48]	Индустрия 6.0 рассматривается через призму влияния на малые и средние предприятия (МСП) в сфере услуг, с акцентом на эмоциональный интеллект и автономные системы	Автономные роботы, цифровые двойники, эмоциональный интеллект, автоматизация	Внедрение полного автономного управления и эмоционального интеллекта для повышения производительности МСП, что отличает ее от предыдущих индустриальных этапов, ориентированных на частичную автоматизацию
[49]	Индустрия 6.0 рассматривается как эволюция промышленности, обеспечивающая синергию между человеком и роботами для глобального прогресса	Квантовые вычисления, ИИ, машинное обучение, облачные технологии, квантовые искусственные вычисления	Более глубокая интеграция (конвергенция) ИИ, квантовых технологий и облачных вычислений, акцент на автоматизацию и взаимодействие человека и робота для устойчивого развития

Таблица 4 / Table 4

Информационные технологии и кибербезопасность в Индустрии 6.0

Information technology and cybersecurity in Industry 6.0

Источник	Определение	Ключевые технологии	Отличия
[50]	Шестая индустриальная революция строится на междисциплинарной интеграции и использовании новых технологий для повышения глобальной устойчивости	Дополненная реальность, ИИ, IoT, кибербезопасность	Большая междисциплинарность, акцент на глобальной устойчивости, использование передовых технологий для повышения безопасности и интеграции
[51]	Индустрия 6.0 с использованием IoT и технологий 6G для оптимизации промышленных процессов в условиях чрезвычайных ситуаций	IoT, ИИ, машинное обучение, технологии 6G, системы агрегации данных	Интеграция IoT и 6G для поддержки высококачественных услуг в условиях катастроф, что отличает ее от предыдущих индустрий, которые не учитывали такие сценарии в своих моделях производства и управления
[52]	Обучение использования приложений для продвижения продуктов в целях улучшения продаж в эпоху умной Индустрии 6.0	Умные технологии, Canva, цифровизация промокампаний	Внедрение цифровых инструментов для улучшения маркетинга и продвижения товаров, что отличает ее от предыдущих индустрий, где акцент был на офлайн-продвижении продуктов
[53]	Применение сетей с интеллектуальными поверхностями (RIS – Reconfigurable Intelligent Surface) для улучшения распределения ресурсов в сценариях Индустрии 6.0	RIS, оптимизация каналов, алгоритмы распределения ресурсов, улучшение качества обслуживания	Требуется более сложных алгоритмов распределения ресурсов и адаптации к новым условиям сетей связи с высокими требованиями по пропускной способности
[54]	Индустрия 6.0 фокусируется на передовых испытаниях автономных транспортных средств, используя закрытые социотехнические среды (CSES) для повышения безопасности и доверия	Нечеткий аналитический процесс иерархии (Fuzzy ANP), автономные транспортные средства, CSES	Создание передовых испытательных сред и укрепление доверия для автономных транспортных средств, отличающихся от чисто производственных отраслей

Таблица 5 / Table 5

Машинное обучение и ИИ в различных секторах Индустрии 6.0

Machine Learning and AI in Various Sectors of Industry 6.0

Источник	Определение	Ключевые технологии	Отличия
[55]	Индустрия 6.0 в аэрокосмической отрасли ориентирована на адаптивные структуры, которые могут изменяться в ответ на меняющиеся условия	Машинное обучение, адаптивные структуры, оптимизация аэродинамики, алгоритмы глубинного обучения	Фокус на интеграцию машинного обучения для повышения производительности и адаптивности структур, применение в реальных условиях, оптимизация через алгоритмы CNN
[56]	Индустрия 6.0 в банковской сфере направлена на создание инклюзивных и устойчивых решений через вовлечение сообщества и сотрудничество со стейкхолдерами	Цифровизация, устойчивость, вовлечение стейкхолдеров, социальная и экологическая ответственность	Переход к устойчивому и инклюзивному банковскому обслуживанию с акцентом на сотрудничество, вовлечение стейкхолдеров и долгосрочную жизнеспособность
[57]	Индустрия 6.0 в маркетинге характеризуется экстремальной ориентацией на потребителя, основанной на данных и ИИ	ИИ, анализ данных, автоматизация маркетинга, персонализация	Акцент на превосходную клиентскую ориентацию, автоматизацию маркетинга с использованием ИИ и данных, что отличает от предыдущих этапов маркетинга, где технология играла менее значимую роль
[58]	Индустрия 6.0 в маркетинге основана на использовании ИИ для создания виртуальных инфлюенсеров	ИИ, виртуальные инфлюенсеры, персонализированные маркетинговые кампании	Полная автоматизация маркетинга и замена традиционных методов продвижения виртуальными инфлюенсерами, усиление персонализации и снижения затрат

Окончание табл. 5 / End of Table 5

Источник	Определение	Ключевые технологии	Отличия
[59]	Индустрия 6.0 в финансовом секторе предполагает виртуальное и искусственное управление и аудиторский контроль	ИИ, блокчейн, удаленные аудиторские системы, машинное обучение	Фокус на виртуальное управление и контроль, с внедрением ИИ для управления рисками и улучшения корпоративного управления через блокчейн и глубокое обучение
[60]	Индустрия 6.0 в сельском хозяйстве нацелена на создание «зеленых» и устойчивых цепочек поставок с использованием ИИ и IoT	ИИ, IoT, оптимизация энергетического потребления, снижение выбросов, устойчивость сельского хозяйства	Упор на устойчивое управление аграрными процессами с использованием передовых технологий, что отличает от предыдущих подходов к сельскому хозяйству, ориентированных на увеличение объема производства
[61]	Индустрия 6.0 в здравоохранении представляет концепцию Hospital 6.0, ориентированную на интеллектуализацию и технологическую модернизацию больниц для повышения доверия и улучшения взаимодействия с пациентами	Интеллектуальные больницы, цифровизация логистики, умные процессы, инфраструктурные решения	Включение умных технологий и автоматизации в систему здравоохранения, что отличает от более ранних индустриальных революций акцентом на пациенто-центричность и технологическую модернизацию больниц
[62]	Индустрия 6.0 в ортопедии рассматривает применение технологий для улучшения персонализированной медицины и повышения качества жизни пациентов	Интеграция ИИ с человеческим интеллектом, умные технологии для диагностики, персонализированные имплантаты и протезы	Углубленная персонализация и кастомизация продуктов, ориентация на улучшение взаимодействия человека и ИИ, что отличает ее от предыдущих индустриальных этапов, акцентированных на автоматизации и роботизации
[63]	Индустрия 6.0 в транспортных системах исследует внедрение автономных транспортных средств с использованием симуляций и моделирования	Автономные транспортные средства, водородные технологии, беспроводная передача энергии	Применение новых технологий, таких как беспроводная передача энергии и автономные системы управления транспортом, делает ее отличной от предыдущих революций, ориентированных на электрические и гибридные системы
[64]	Маркетинг 6.0 является частью Индустрии 6.0, которая преобразует подходы к маркетингу и бизнесу с использованием смарт-технологий для улучшения деятельности участников цепочки поставок, маркетологов и клиентов	Смарт-технологии, цифровизация, персонализация маркетинговых стратегий	Повышение удобства в доступе к услугам для потребителей и участников бизнеса, увеличение персонализации и автоматизации процессов, акцент на интеграции цифровых решений в маркетинг
[65]	Метрология в Индустрии 6.0 становится важным компонентом для поддержки устойчивого развития и «зеленых» технологий	Метрология, «зеленые» технологии, виртуальные двойники, цифровизация	Интеграция метрологии для содействия устойчивому развитию, поддержка принципов устойчивости и включение «зеленых» технологий, что отличает ее от предыдущих этапов индустриализации, акцентированных на производительность
[66]	В Индустрии 6.0 новые подходы к управлению цепями поставок включают оптимизацию политик заказа для снижения эффекта «кнута»	Оптимизация управления цепями поставок, новые алгоритмы прогнозирования спроса, интеллектуальные системы	Применение интеллектуальных систем для снижения эффекта «кнута», что отличает ее от предыдущих индустрий, где прогнозирование спроса приводило к сбоям и нестабильности в цепях поставок
[67]	Индустрия 6.0 в финансовой системе включает в себя критерии безопасности и защиты для обеспечения устойчивого и безопасного функционирования финансовых операций	Кибербезопасность, защита данных, безопасность банковских систем, предотвращение финансовых преступлений	Финансовая система Индустрии 6.0 основана на углубленной интеграции (конвергенции) технологий безопасности и защиты данных для предотвращения киберугроз
[68]	Технологические инновации, направленные на цифровизацию бухгалтерского учета и финансов с помощью ИИ, блокчейна, аналитики данных и автоматизации	ИИ, блокчейн, аналитика данных, роботизированная автоматизация процессов, виртуальная реальность	Применение ИИ и передовых технологий в непроизводственных областях, таких как бухгалтерский учет

В рамках *первой исследовательской проекции*, посвященной интеллектуальной автоматизации (см. табл. 1), ученые дискутируют о возможностях создания практически полностью автономных систем, основанных на ИИ. Акцент делается на минимизации человеческого участия и внедрении самоуправляемых производственных процессов с функцией непрерывного обучения. Подчеркивается важность ультраперсонализированного производства, где размер партии может быть равен единице, но при этом оставаться экономически и экологически оправданным. Дискуссия также охватывает перспективы использования квантовых вычислений, предиктивного управления и самовосстановления производственных процессов.

Второе направление – устойчивое развитие и «зеленые» технологии (см. табл. 2) – посвящено на достижение глобальной экологической устойчивости через использование интеллектуальных систем. Основная дилемма заключается в создании устойчивых моделей экономики, в которых биосфера и техносфера могут сосуществовать в гармоничной коэволюции. Некоторые ученые предлагают геоантропологический подход к индустриализации, ориентированный на балансе между природой и производственными процес-

сами. Другие акцентируют внимание на применении ИИ для моделирования и предсказания климатических изменений.

Третье направление – человеко-машинное взаимодействие, этика и эмоциональный интеллект (см. табл. 3) – отражает важность симбиотического взаимодействия между человеком и машинами, в котором технологии не только автоматизируют процессы, но и гуманизируются. Дискуссия фокусируется на применении эмоционального интеллекта для улучшения симбиотических систем, обеспечивающих когнитивное и физическое слияние виртуальных, а также цифровых двойников машин и человека. Этические проблемы затрагивают вопросы сохранения человеческих функций в условиях растущей автоматизации.

Четвертое направление, касающееся информационных технологий и кибербезопасности (см. табл. 4), охватывает вызовы, связанные с защитой данных и обеспечением безопасности гиперсвязанных иммерсивных систем. В условиях глобальной цифровой трансформации ученые обсуждают эффективность современных кибербезопасных решений и их способность защищать интеллектуально-технологически насыщенные системы Индустрии 6.0 от новых угроз.

Таблица 6 / Table 6

Управление человеческими ресурсами и организационные изменения в Индустрии 6.0

Human resource management and organizational change in Industry 6.0

Источник	Определение	Ключевые технологии	Отличия
[14]	Переход к Индустрии 6.0 требует сбалансированного подхода между человеческими и технологическими аспектами для устойчивого развития	Человеко-технологический баланс, инновации, устойчивость	В отличие от Индустрии 4.0, которая была более технологически ориентированной, Индустрия 6.0 стремится к более интегрированной модели, где технологии служат для улучшения человеческого благополучия
[69]	Индустрия 6.0 в образовании требует адаптации педагогики и учебных программ к новым технологическим вызовам и требованиям рынка труда	Образовательные технологии, междисциплинарный подход, подготовка кадров, цифровизация учебных процессов	Адаптация образовательных программ к требованиям рынка труда Индустрии 6.0, акцент на новых технологиях и междисциплинарных подходах
[70]	Развитие человеческого потенциала через инклюзию и диверсификацию труда становится критически важным в Индустрии 6.0	Диверсификация труда, инклюзивные практики, инновации	Усиление внимания к человеческому капиталу и созданию условий для инклюзивных и разнообразных рабочих мест, чего не было в предыдущих индустриях, ориентированных на механизацию и автоматизацию
[71]	Индустрия 6.0 включает использование ИИ для управления человеческими ресурсами и организационными процессами	ИИ, управление проектами, облачные вычисления, автоматизация процессов управления персоналом	Акцент сделан на риски и возможности ИИ в управлении человеческими ресурсами, автономизацию управления
[72]	Взаимодействие стратегического управления человеческими ресурсами и устойчивой инновации в рамках Индустрии 6.0	Стратегическое управление HR, устойчивое развитие, инновации, интеграция технологий	Индустрия 6.0 подчеркивает необходимость стратегического подхода к HR в сочетании с инновациями для долгосрочного промышленного развития



а



б



в

Рис. 5. Индустрия 6.0 как автономное интеллектуальное производство:
а – Getty [21]; б – [73]; в – [74]

Fig. 5. Industry 6.0 as an autonomous intelligent production: (a) Getty [21]; (б) [73]; (в) [74]

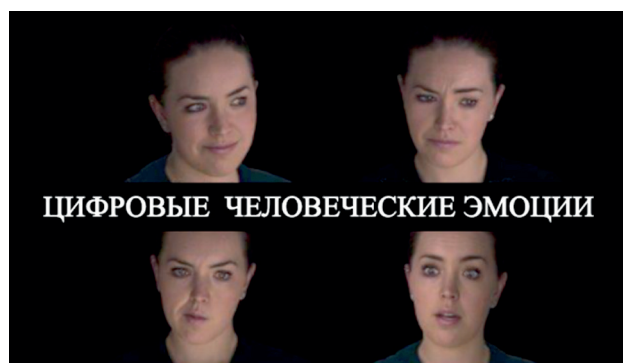


Рис. 6. Цифровые человеческие эмоции [75]

Fig. 6. Digital human emotions [75]

Пятое направление исследует трансформацию отраслей под влиянием ИИ и машинного обучения (см. табл. 5). Особое внимание уделяется адаптивным системам, применяющимся в таких секторах, как финансы, здравоохранение и транспорт, где ИИ не только оптимизирует процессы, но и предсказывает их развитие.

Шестое направление – управление человеческими ресурсами и организационные изменения (см. табл. 6) – рассматривает цифровизацию HR-процессов и их адаптацию к вызовам Индустрии 6.0. Ученые обсуждают, как ИИ может изменить традиционные подходы к управлению персоналом. Однако вопросы о том, насколько это повлияет на долгосрочные стратегии компаний и заменит ли ИИ человеческий фактор, остаются предметом дискуссий.

Таким образом, Индустрия 6.0 выходит за пределы традиционных технологических революций, представляя собой «новое поколение промышленности, управляемое генеративным ИИ и роем гетерогенных роботов» [15], и объединяет широкий спектр передовых технологий и инновационных подходов (рис. 5).

Эмоционально-интеллектуальные квантовые экосистемы, являющиеся объектами Индустрии 6.0, включают в себя когнитивные функции ИИ, способного распознавать, интерпретировать и взаимодействовать с человеческими эмоциями, обеспечивая симбиотические и адаптивные решения (рис. 6). Этот подход формирует основу для авторского видения Индустрии 6.0.

Авторское видение Индустрии 6.0

Индустрия 6.0 представляет собой качественно новую фазу промышленного развития, характеризующуюся *вездесущей интеллектуально-технологической иммерсивной гиперсвязанностью и физико-когнитивно-эмоциональным слиянием виртуальных двойников человека и машины* в рамках симбиотического взаимодействия.

Объектом Индустрии 6.0 выступают эмоционально-интеллектуальные квантовые экосистемы с многоуровневой (XD) симметрией, функциями самонастройки и предсказательного управления, способными к непрерывному обучению и оптимизации.

Целью Индустрии 6.0 является создание на микроуровне ультраумной Фабрики 6.0, а на макроуровне – новой формы симбиотической интеллектуальной экономики, где биосфера и техносфера сосуществуют в гармоничной коэволюции (рис. 7).

В отличие от Индустрии 4.0, ориентированной на технологическую революцию и автоматизацию, и Индустрии 5.0, фокусирующейся на человекоцентричности и устойчивом развитии, Индустрия 6.0 направлена на глобальную экологическую устойчивость и интеллектуальную трансформацию. Ее ключевыми характеристика-

ми являются ультраперсонализированное производство, массовое создание ценностей и дизайн квантово-интеллектуальных экосистем с многоуровневой симметрией, обеспечивающей самонастройку и предсказательное управление (рис. 8).

Ключевые технологии Индустрии 6.0 представлены на рис. 9.

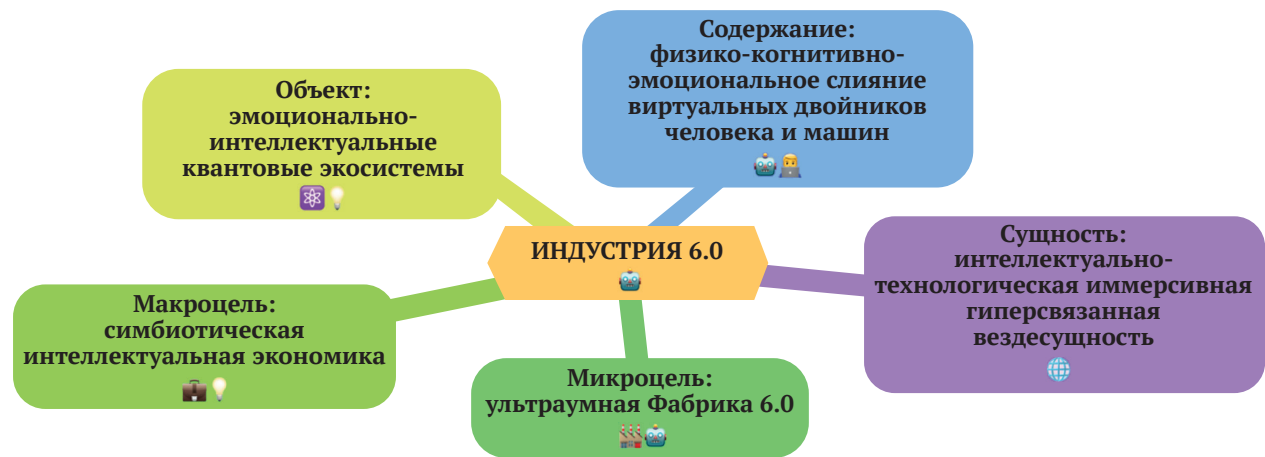


Рис. 7. Концептуальный абрис Индустрии 6.0

Fig. 7. Conceptual outline of Industry 6.0

Индустрия 4.0

- Технологическая революция
- Отношения между человеком и машиной как конкуренция
- Должна повысить производительности и конкурентоспособность промышленности
- Массовое производство
- Киберфизические системы с переходом в киберфизические производственные экосистемы
- Дизайн киберпромышленной производственной экосистемы имеет двумерную (2D) симметрию
- Высокотехнологичная стратегия автоматизации производства для создания умных фабрик
- Фабрики будущего (цифровые, умные, виртуальные)
- Основные цели – экономический рост и научно-технологическое развитие, повышение конкурентоспособности, рост производительности труда

Индустрия 5.0

- Ценностная инициатива
- Отношения между человеком и машиной как сотрудничество
- Должна улучшить удобство и качество жизни
- Массовая кастомизация
- Интеллектуальные киберсоциальные экосистемы
- Дизайн интеллектуальной киберсоциальной экосистемы имеет трехмерную (3D) симметрию
- Демократичное совместное производство знаний из больших данных на основе новых концепций симметричных инноваций
- Синергетические социальные фабрики
- Ключевые ценности – человекоцентричность, устойчивость, резильентность

Индустрия 6.0

- Интеллектуально-технологически иммерсивная гиперсвязанная вездесущность
- Физико-когнитивно-эмоциональное слияние виртуальных двойников человека и машин
- Должна достичь глобальной экологической устойчивости и интеллектуальной трансформации
- Ультраперсонализированное производство
- Массовое создание ценностей
- Эмоционально-интеллектуальные квантовые экосистемы
- Дизайн квантово-интеллектуальных экосистем с XD симметрией
- Практически полностью автономные системы, основанные на ИИ
- Интеллектуальная (ультраумная) Фабрика 6.0
- Основная цель – создание новой формы симбиотической intelligence экономики

Рис. 8. Отличительные особенности Индустрии 6.0 в сравнении с Индустриями 4.0 и 5.0

Fig. 8. Distinctive features of Industry 6.0 in comparison with Industries 4.0 and 5.0

Технологии Индустрии 4.0	Технологии Индустрии 5.0	Технологии Индустрии 6.0
• Умная цепь поставок • Аддитивное производство • Большие данные • 4G • Облачные вычисления • Добыча данных • Киберфизическая система • Возобновляемая энергия • Автономное принятие решений • Массовая кастомизация • Возможность подключения оборудования • Модульность • Удаленная рабочая сила • Умные продукты • ИИ	• Цифровые двойники • Адаптивная умная фабрика • Коботы • Умные продукты • Виртуализация • Массовая персонализация • 5G • Биоэкономика • Футуристическое умное общество • Предотвращение образования отходов • Рабочая сила на месте • Интерактивные продукты • Отзывчивая и распределенная цепочка поставок • Совместный интеллект	• Виртуальные двойники (в том числе виртуальный двойник человека) • Эмоциональный интеллект машин • Генеративный интеллект • Параллельный интеллект • Гетерогенные роботы (в том числе человекоподобные) • Иммерсивность • Пространственные вычисления • Мультиагентные системы • 6G • Облачная возобновляемая энергия • Квантовые технологии • Когнитивные технологии • Антихрупкость • Зеленая устойчивость

Рис. 9. Технологии Индустрии 6.0 в сравнении с Индустрией 4.0/5.0

Источник: составлено авторами с использованием материалов [76]

Fig. 9. Industry 6.0 technologies compared to Industry 4.0/5.0

Source: compiled by the authors using materials from [76]

Цифровые двойники человека появились на кривой хайпа Gartner в 2020 г. (2020 – Digital Twin of Person; 2021 – Digital Humans; 2024 – Digital Twin of a Customer) [77]. Цифровой двойник клиента (Digital Twin of a Customer, DToC) – это динамическая виртуальная модель, созданная для моделирования поведения и предпочтений клиента. Такие модели предлагают компаниям более глубокие знания для персонализации взаимодействия, оптимизации услуг и предвосхищения потребностей [78]. В августе 2024 г. DToC находятся на стадии инновационного триггера с ожидаемым выходом на плато продуктивности в течение 5–10 лет¹². Этот тип цифровых двойников можно отнести к перцептивно-когнитивным моделям цифрового моделирования человека (табл. 7).

Цифровое моделирование человека существует достаточно давно (например, включенная в табл. 7 модель Jack разработана NASA еще в середине 1980-х гг. [80]). Трансформация цифровой модели в цифровой двойник человека представляет собой качественный технологический переход в рамках Индустрии 4.0/5.0 [86–88].

¹² Gartner 2024. Hype cycle for emerging technologies highlights developer productivity, total experience, AI and security. STAMFORD, Conn., August 21, 2024. Available at: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2024-08-21-gartner-2024-hype-cycle-for-emerging-technologies-highlights-developer-productivity-total-experience-ai-and-security> (accessed on 18.10.2024).

Компания Dassault Systèmes, являющаяся одним из мировых лидеров в цифровом моделировании и создании цифровых двойников, в том числе в промышленности, вышла за рамки технологии цифровых двойников на основе виртуальных двойников, отражающих новый уровень конвергенции и применения технологий. Виртуальный двойник, по определению Dassault Systèmes, – это «цифровая копия как самого продукта, так и его истории и эволюции»¹³ (рис. 10).

21 декабря 2023 г. одновременно с торжественным открытием суперкомпьютера MareNostrum5 (MN5) в Испании Европейская комиссия объявила о начале реализации Европейской инициативы по созданию виртуальных человеческих двойников (Virtual Human Twins, VHTs)¹⁴. В рамках этой инициативы был узаконен Манифест о виртуальных человеческих двойниках¹⁵ в системе здравоохранения, подписанный более чем 75 ведущими заинтересованными организациями, представляющими широкую VHT-экосистему.

¹³ Virtual twin experiences. Dassault systèmes. Available at: <https://www.3ds.com/virtual-twin> (accessed on 18.10.2024).

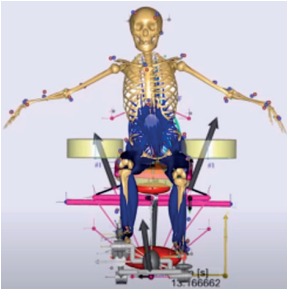
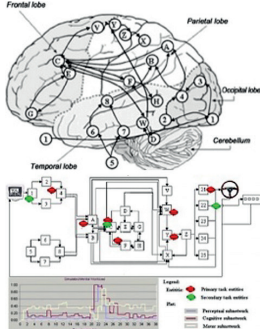
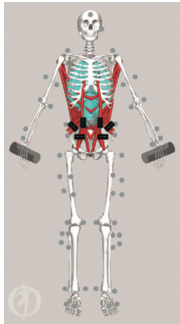
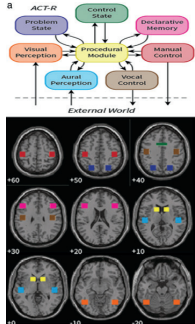
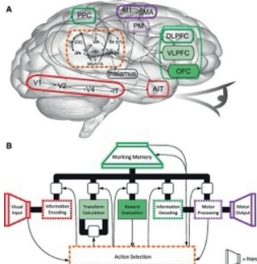
¹⁴ European virtual human twins initiative. European Commission. April 23, 2024. Available at: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/virtual-human-twins> (accessed on 18.10.2024).

¹⁵ Virtual human twins. Manifesto. A statement of intent on development, evidence, and adoption in healthcare systems. Available at: <https://www.virtualhumantwins.eu/manifesto> (accessed on 18.10.2024).

Таблица 7 / Table 7

Категории цифрового моделирования человека

Categories of digital human modeling

Категории	Антропометрические модели	Биомеханические модели	Перцептивно-когнитивные модели
Функции	Моделирование физических размеров тела	Моделирование опорно-двигательного аппарата	Моделирование когнитивного состояния и поведения при принятии решений
Применение	Дизайн изделий, рабочих мест, кабины пилота	Прогнозирование осанки, анализ походки и динамики	Прогнозирование когнитивного состояния и производительности
Инструменты	Jack [79]  Источник рисунка: [80]	AnyBody¹⁶  Источник рисунка: [81]	QN-MHP  Источник рисунков: [82]
	RAMSIS  Источник рисунка: ¹⁷	OpenSim¹⁸  Источник рисунка: [83]	ACT-R¹⁹  Источник рисунков: [84]
	Santos²⁰  Источник рисунка: ²¹	3D SSPP²²  Источник рисунка: ²³	Spaun  Источник рисунков: [85]

Источник: составлено авторами на основе материалов [77; 80]
Source: compiled by the authors based on [77; 80]

¹⁶ Who is AnyBody Technology? Available at: <https://www.anybodytech.com> (accessed on 18.10.2024).
¹⁷ RAMSIS. Available at: <https://www.human-solutions.com/en/products/ramsis-general/index.html> (accessed on 18.10.2024).
¹⁸ OpenSim community. Available at: <https://opensim.stanford.edu> (accessed on 18.10.2024).
¹⁹ ACT-R. Available at: <http://act.psy.cmu.edu> (accessed on 18.10.2024).
²⁰ SantosHuman. Available at: <https://www.santoshumaninc.com> (accessed on 18.10.2024).

²¹ Beck S. Video demo: What's the difference between a predictive human model and a traditional digital human? April 15, 2019. Available at: <https://www.santoshumaninc.com/2019/04/15/video-demo-whats-the-difference-between-a-predictive-human-model-and-a-traditional-digital-human/> (accessed on 18.10.2024).
²² 3DSSPP Software. Available at: <https://c4e.engin.umich.edu/tools-services/3dsspp-software/> (accessed on 18.10.2024).
²³ Limb angle changes. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=dIvsNVh0zFc>; <https://i.ytimg.com/vi/dIvsNVh0zFc/maxresdefault.jpg> (accessed on 18.10.2024).

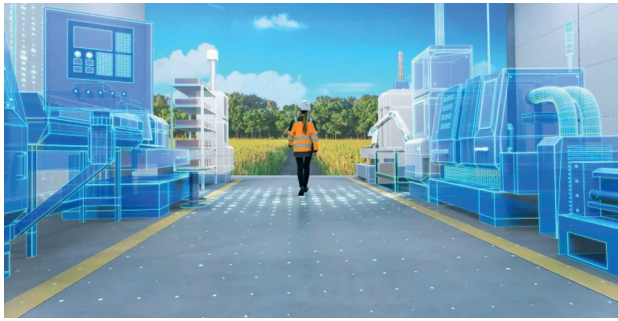


Рис. 10. Виртуальный двойник для промышленности

Источник: Dassault Systèmes

Fig. 10. Virtual twin for industry

Source: Dassault Systèmes

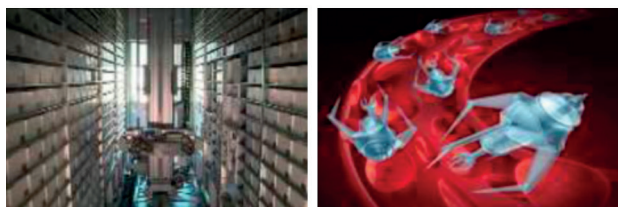


а



Эндоскопический бот

Дезинфицирующий бот



Фармабот

Антибактериальные наноботы

б

Рис. 11. Визуализация технологий Индустрии 6.0

Источник: а – [15]; б – [25]

Fig. 11. Visualization of Industry 6.0 technologies

Source: (a) [15]; (b) [25]

Гуманоидные рабочие роботы имитируют человеческое тело и управляются мозгом с поддержкой ИИ. Следующее поколение гуманоидных рабочих роботов будет сочетать сенсорное восприятие с мобильными манипуляциями и динамической подвижностью для выполнения продуктивной работы, которая раньше была уделом биологических людей [78].

Пространственные вычисления объединяют физическую и цифровую среду, позволяя пользователям взаимодействовать с цифровым контентом в трехмерном пространстве [78].

Поколение 6G – это следующее поколение беспроводных технологий, развивающееся после 5G и обещающее сверхвысокие скорости, низкие задержки и расширенные возможности подключения для таких передовых приложений, как иммерсивные AR/VR и взаимодействие с ИИ в реальном времени [78].

На основе представленного сравнения технологий Индустрий 4.0, 5.0 и 6.0 можно сделать вывод, что эволюция промышленных технологий идет в направлении все большей интеграции (иммерсивной конвергенции) человека и машины [89], увеличения интеллектуальной и когнитивной составляющей [90], а также усиления экологической и социальной ответственности. В Индустрии 6.0 наблюдается переход от «умных» фабрик и продуктов к созданию симбиотических систем, где взаимодействие с человеком и окружающей средой выходит на новый уровень благодаря квантовым, когнитивным и мультиагентным технологиям (рис. 11).

Основной акцент смещается на глобальную устойчивость, эмоциональный интеллект машин и конвергенцию параллельных интеллектуальных систем, что формирует будущий формат взаимодействия между биосферой и техносферой [91].

Эволюция и будущее Индустрии 6.0

Интерес к классификации индустрий, начиная с Индустрии 1.0 и заканчивая Индустрией 6.0, никогда не угасал. Он подпитывался различными теориями, такими как Кондратьевские волны и инновационные циклы Й. Шумпетера [цит. по: 92], технологические уклады С.Ю. Глазьева, концепции эволюции парадигм, например, по Ф. Лалу (F. Laloux) [93], Л.В. Липидус [94; 95]. В данном исследовании авторы предлагают аллегорию, отражающую эволюцию Индустрии 6.0, как дрейф по нескольким волнам, каждая из которых символизирует многомерное развитие и трансформацию в различных сферах – от сетевых технологий до изменений в социально-экономических моделях и структуре общества (рис. 12).

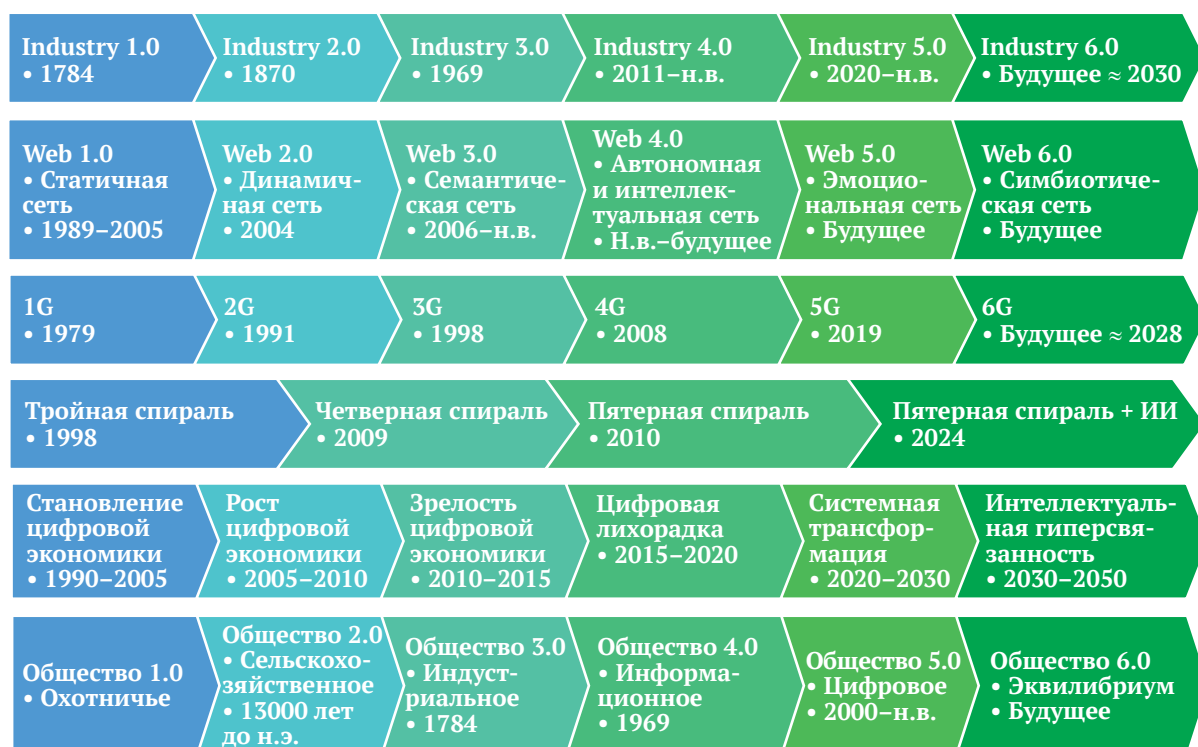


Рис. 12. Эволюционные волны дрейфа от Индустрии 1.0 к Индустрии 6.0

Fig. 12. Evolutionary waves of drift from Industry 1.0 to Industry 6.0

Рассмотрим авторскую аллгорию как комплексную эволюцию, связывающую технологические, социальные и экономические изменения.

Industry 1.0 → Industry 6.0 – это переход от механизации и паровых машин к полной интеграции (конвергенции) ИИ, квантовых вычислений и автономных систем в промышленность. Индустрия 6.0 объединяет симбиоз человека и машины, где машины не просто помогают человеку, но и полностью интегрированы в процессы.

Web 1.0 → Web 6.0 – сетевые технологии эволюционируют от статических веб-страниц к глобальной сети, основанной на ИИ и полной цифровой трансформации. Web 6.0 может предполагать интеллектуальные системы, которые предугадывают потребности пользователей и создают синтетические среды взаимодействия [96; 97].

1G → 6G – генерации мобильных сетей следуют похожей траектории – от базовой мобильной связи до гиперсвязанных сетей 6G, которые поддерживают квантовые вычисления, автономные системы и широкую интеграцию IoT.

Общество 1.0 → Общество 6.0 – общественные системы трансформируются с переходом от аграрного и индустриального общества к обществу знаний и далее к интеллектуальному об-

ществу (Общество 6.0), где человекоцентричные системы сосуществуют с интеллектуальными машинами, гармонизируя экономику, экологию и технологические процессы [98].

Тройная спираль → Пентаспираль + ИИ – переход от модели «Тройной спирали» (наука, бизнес и государство) [12] к «Пятерной спирали» [10; 11] добавляет экологические и социальные элементы, а с Индустрией 6.0 сюда интегрируются технологии ИИ [13; 14], что позволяет управлять инновационными процессами в симбиотических экосистемах.

Становление цифровой экономики → Интеллектуальная гиперсвязанность [94; 95] – цифровая экономика начинается с интеграции базовых цифровых технологий, затем проходит через фазу стремительного роста и цифровой зрелости, достигая пика «цифровой лихорадки», что ведет к трансформации систем и установлению гиперсвязанной экономики, управляемой ИИ и большими данными.

Говоря о возможных будущих индустриях 7.0, 8.0 и далее, важно отметить вклад советского математика Н.С. Кардашева, который в 1964 г. предложил шкалу для систематизации уровней технологического развития цивилиза-

ций. Шкала Кардашева, в настоящее время имеющая большой интерес у зарубежных ученых (например, китайских [98] и американских²⁴ исследователей), основана на уровне энергопотребления цивилизацией и включает три основных типа: цивилизация I типа использует всю энергию своей планеты, II типа – энергию своей звезды, а III типа – энергию своей галактики. Это открытие стало прорывом в советской науке того времени и до сих пор остается важным ориентиром в изучении технологий будущего. Расширение шкалы Кардашева к типам IV и V, описывающим цивилизации, способные использовать энергию вселенной или мультивселенной, позволяет прогнозировать дальнейшие шаги в развитии индустриальных экосистем.

В настоящее время активно ведутся исследования по борьбе со старением человека. Например, в исследовании российских и зарубежных ученых 2024 г. указано, что «старение – сложная проблема, которая, скорее всего, требует нескольких одновременных решений» [99]. Согласно модели «1000 лет в будущем» футурологического института Zukunftsinstitut²⁵ к 2050–2100 гг. наступит «эпоха здоровья и опыта», которая будет следовать за информационным веком, а с 2100 г. начнется «эпоха науки о жизни». Индустрия 5.0 служит переходом к эпохе индивидуализации и кастомизации, а Индустрия 6.0 принесет «эмоциональные машины», открывая новые возможности в психосоциальной сфере. Индустрия 7.0, в свою очередь, окончательно изменит взаимоотношения между человеком и машиной в эпоху науки о жизни.

Заключение

В рамках данного исследования были решены следующие задачи:

1. По результатам реализации систематического литературного обзора выявлены 52 существующих определения Индустрии 6.0. Данные определения совместно с ключевыми технологиями и отличительными особенностями Индустрии 6.0 систематизированы по шести исследовательским проекциям: 1) интеллектуальная автоматизация и производственные системы; 2) устойчивое развитие и «зеленые» технологии; 3) человеко-машинное взаимодействие, этика и эмоциональный интеллект; 4) информационные технологии и ки-

бербезопасность; 5) машинное обучение и ИИ в различных секторах Индустрии 6.0; 6) управление человеческими ресурсами и организационные изменения в Индустрии 6.0.

2. Предложен авторский концепт Индустрии 6.0. Сущность Индустрии 6.0 определена как интеллектуально-технологически иммерсивный гиперсвязанный юбиквитус (от лат. ubiquitous – вездесущий). Содержание Индустрии 6.0 охарактеризовано как физико-когнитивно-эмоциональное слияние виртуальных двойников человека и машин. Объектом Индустрии 6.0 признаны эмоционально-интеллектуальные квантовые экосистемы. На микроуровне целью Индустрии 6.0 признано формирование ультраумных Фабрик 6.0. Макроцелью является создание симбиотической интеллектуальной эквилибрий-экономики (англ. equilibrium – от лат. aequus – равный и libra – весы равновесие).

3. Выделены отличительные характеристики и технологии Индустрии 6.0 по сравнению с Индустриями 4.0/5.0 (виртуальные двойники человека, эмоциональный интеллект машин, квантовые вычисления, гетерогенные роботы, мультиагентные системы и др.). Сделан вывод, что эволюция индустриальных технологий идет в направлении все большей интеграции (иммерсивной конвергенции) человека и машины, увеличения интеллектуальной и когнитивной составляющей, а также усиления экологической и социальной ответственности.

4. Для описания эволюции предложена авторская аллегория, представляющая современный шестой этап индустриального развития в виде дрейфа по нескольким волнам, каждая из которых символизирует многомерную трансформацию в различных сферах – от сетевых технологий до изменений в социально-экономических моделях и структуре общества. Описаны футурологические образы Индустрии 7.0, 8.0 и далее.

В России есть значительные возможности для реализации будущей Индустрии 6.0, благодаря развитию ИИ и экономики данных, которые уже закреплены как ключевые направления национального развития. Технологический суверенитет, обозначенный в стратегических документах до 2036 г., обеспечивает независимость в критически важных технологиях. Программа «Технет» Национальной технологической инициативы (НТИ) активно способствует созданию передовых производственных технологий, включая цифровые и виртуальные двойники, киберфизические системы и роботизированные решения, что закладывает основу для перехода к будущей Индустрии 6.0 в России.

²⁴ Zylman B. Industry 4.0 and beyond to 6.0. Available at: <https://www.bzylman.com/single-post/2016/05/08/your-daily-dose-of-design> (accessed on 11.10.2024).

²⁵ Zukunftsinstitut. Available at: <https://www.zukunftsinstitut.de> (accessed on 11.10.2024).

Список литературы / References

1. Babkin A.I., Alekseeva N., Shkarupeta E., Makhmudova G. Structural and functional model of the digital monitoring system for the enterprise in Industry 4.0. In: *Proc. of the 3rd Intern. Sci. Conf. on Innovations in Digital Economy. SPBPU IDE-2021*. 11–15 октября 2021. Санкт-Петербург; 2021. С. 279–285. <https://doi.org/10.1145/3527049.3527092>
2. Vasin S., Gamidullaeva L., Shkarupeta E., Finogeev A., Palatkin I. Emerging trends and opportunities for industry 4.0 development in Russia. *European Research Studies Journal*. 2018;21(3):63–76. <https://doi.org/10.35808/ersj/1044>
3. Бабкин А.В., Федоров А.А., Либерман И.В., Клачек П.М. Индустрия 5.0: понятие, формирование и развитие. *Экономика промышленности*. 2021;14(4):375–395. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2021-4-375-395>
Babkin A.V., Fedorov A.A., Liberman I.V., Klachek P.M. Industry 5.0: concept, formation and development. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2021;14(4):375–395. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2021-4-375-395>
4. Babkin A., Shkarupeta E., Kabasheva I., Rudaleva I., Vicentiy A. A framework for digital development of industrial systems in the strategic drift to Industry 5.0. *International Journal of Technology*. 2022;13(7):1373–1382. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v13i7.6193>
5. Babkin, A., Tashenova, L., Mamrayeva, D., Shkarupeta, E. Industry 5.0 and digital ecosystems: scientometric research of development trends. In: Ilin I., Petrova M.M., Kudryavtseva T. (eds.). *Digital transformation on manufacturing, infrastructure & service. DTMIS 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*. Cham: Springer; 2023. Vol. 684. P. 544–564. https://doi.org/10.1007/978-3-031-32719-3_42
6. Babkin A., Shkarupeta E., Danilov D., Tashenova L., Nosirov I. From ESG to EICSG (Environment, Intelligent, Cyber, Social, Governance) strategic management in Industry 5.0. In: *E3S Web of conf. Ural environmental science forum “Sustainable Development of Industrial Region” (UESF-2024)*. Челябинск, 25–28 апреля 2023. Челябинск: EDP Sciences; 2024. Vol. 531:05017. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202453105017>
7. Kotler P., Kartajaya H., Setiawan I. *Marketing 4.0: Moving from traditional to digital*. Wiley; 2017. 207 p.
8. Kotler P., Kartajaya H., Setiawan I. *Marketing 5.0*. Wiley; 2021. 224 p.
9. Kotler P., Den Huan H., Setiawan I. *Marketing 6.0. The future is immersive*. Wiley; 2024. 256 p.
10. Carayannis E.G., Campbell D.F.J. ‘Mode 3’ and ‘Quadruple Helix’: toward a 21st century fractal innovation ecosystem. *International Journal of Technology Management*. 2009;46(3-4):201–234. <https://doi.org/10.1504/IJTM.2009.023374>
11. Carayannis E.G., Campbell D.F. Triple Helix, quadruple Helix and quintuple Helix and how do knowledge, innovation and the environment relate to each other? A proposed framework for a trans-disciplinary analysis of sustainable development and social ecology. *International Journal of Social Ecology and Sustainable Development (IJSESD)*. 2010;1(1):41–69. <https://doi.org/10.4018/jesed.2010010105>
12. Leydesdorff L., Etzkowitz H. The triple helix as a model for innovation studies. *Science and Public Policy*. 1998;25(3):195–203.
13. Carayannis E.G., Posselt T., Preissler S. Toward Industry 6.0 and Society 6.0: The quintuple innovation helix with embedded AI modalities as enabler of public interest technologies strategic technology management and road-mapping. *IEEE Transactions on Engineering Management*. 2024;71:11238–11252. <https://doi.org/10.1109/TEM.2024.3406427>
14. Carayannis E.G., Kostis P.C., Kafka K.I., Valvi T. Toward Industry 6.0 and techno-centric vs human-centric smart balancing. In: Meramveliotakis G., Manioudis M. (eds.). *Sustainable Economic Development: Perspectives from Political Economy and Economics Pluralism*. 1st ed. Routledge; 2024. P. 171–184. <https://doi.org/10.4324/9781003349402-16>
15. Lykov A., Cabrera M. A., Konenkov M., Serpiva V., Gbagbe K. F., Alabbas A., Fedoseev A., Moreno L., Khan M.H., Guo Z., Tsetserukou D. *Industry 6.0: New generation of industry driven by generative AI and swarm of heterogeneous robots*. arXiv:2409.10106. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2409.10106>
16. Зрелова Д.П., Тятюшкина О.Ю., Ульянов С.В. Физические основы квантовых сквозных ИТ в Индустрии 5.0/6.0 и интеллектуальном когнитивном управлении: стохастическая механика, информационная геометрия, квантовая информационная физика / термодинамика. *Системный анализ в науке и образовании*. 2023;1:95–141. Режим доступа: <https://sanse.ru/index.php/sanse/article/view/565> (дата обращения: 18.10.2024).
Zrelova D.P., Tyatyushkina O.Yu., Ulyanov S.V. Physical foundations of quantum end-to-end IT in Industry 5.0/6.0 and intelligent cognitive control: stochastic mechanics, information geometry, quantum information physics/thermodynamics. *Sistemnyi analiz v nauke i obrazovanii = System Analysis in Science and Education*. 2023;1:95–141. (In Russ.). Available at: <https://sanse.ru/index.php/sanse/article/view/565> (accessed on 18.10.2024).
17. Chourasia Sh., Tyagi A., Pandey S. M., Walia R.S., Murtaza Q. Sustainability of Industry 6.0 in global perspective: benefits and challenges. *MAPAN*. 2022;37(2):443–452. <https://doi.org/10.1007/s12647-022-00541-w>
18. Degbun M.W. Main objectives and directions of Industry 6.0. В сб.: *Материалы XVII Всеросс.*

- науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные проблемы менеджмента». 20 апреля 2023. Санкт-Петербург. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ»; 2023. С. 125–128.
19. Степченкова О.С. Антихрупкость или устойчивость: перспективы для экономической безопасности России. *Вестник факультета управления СПбГЭУ*. 2023;(16):99–106.
Stepchenkova O.S. Antifragility or sustainability: Prospects for Russia's economic security. *Vestnik fakul'teta upravleniya SPbGEU*. 2023;(16):99–106. (In Russ.)
 20. Golovianko M., Terziyan V., Branytskyi V., Malyk D. Industry 4.0 vs. Industry 5.0: Co-existence, transition, or a hybrid. *Procedia Computer Science*. 2023;217(4):102–113. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.206>
 21. Gritz L. Automated everything: 'Industry X.Y' will drive progress (and risk) faster than AI. *Forbes*. 2023. Available at: <https://www.forbes.com/sites/louisgritzo/2023/08/29/automated-everything-industry-xy-will-drive-progress-and-risk-faster-than-ai/> (accessed on 18.10.2024).
 22. Сасаев Н.И., Квинт В.Л. Стратегирование промышленного ядра национальной экономики. *Экономика промышленности*. 2024;17(3):245–260. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2024-3-1349>
Sasaev N.I., Kvint V.L. Strategizing the industrial core of the national economy. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2024;17(3):245–260. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2024-3-1349>
 23. Гринев С.А., Квинт В.Л. Формирование стратегических приоритетов промышленного развития РФ как инновационный фактор преодоления кризисных периодов. *Экономика промышленности*. 2023;16(3):275–283. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2023-3-275-283>
Grinev S.A., Kvint V.L. Formation of strategic priorities of industrial development of the Russian Federation as an innovative factor in overcoming crisis periods. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2023;16(3):275–283. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2023-3-275-283>
 24. Tavakkoli-Moghaddam R., Nozari H., Bakhshi-Movahed A., Bakhshi-Movahed A. A Conceptual framework for the Smart Factory 6.0. In: Oskounejad M., Nozari H. (eds.). *Advanced Businesses in Industry 6.0*. IGI Global; 2024. 14 p. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-3108-8.ch001>
 25. Duggal A.S., Malik P.K., Gehlot A., Singh R., Gaba G.S., Masud M., Al-Amri J.F. A sequential roadmap to industry 6.0: Exploring future manufacturing trends. *IET Communications*. 2022;16(6):521–531. <https://doi.org/10.1049/cmu2.12284>
 26. Oskounejad M., Nozari H. (eds.). *Advanced Businesses in Industry 6.0*. IGI Global; 2024. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-3108-8>
 27. Deshpande S., Jogdand R. Development of IoT middleware broker communication architecture for industrial automation with focus on future pandemic possibilities: Industry 5.0. In: Dutta P., Bhattacharya A., Dutta S., Lai WC. (eds.). *Emerging Technologies in Data Mining and Information Security. Advances in Intelligent Systems and Computing*. Singapore: Springer; 2023. Vol. 1348. P. 47–58. https://doi.org/10.1007/978-981-19-4676-9_4
 28. Shafik W. Artificial intelligence and internet of things roles in sustainable next-generation manufacturing: an overview of emerging trends in Industry 6.0. In: Sharma A., Moses O., Sharma R., Gupta S. (eds.). *Sustainable Innovation for Industry 6.0*. IGI Global; 2024. P. 207–239. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-3140-8.ch012>
 29. Pattanaik S., Mohammed M., Sood V. Artificial intelligence and machine learning in Industry 6.0. In: Reddy C.K.K., Doss S., Pamulaparty L., Lippert K., Doshi R. (eds.). *Industry 6.0: Technology, Practices, Challenges, and Applications*. 1st ed. CRC Press; 2024. <https://doi.org/10.1201/9781003517993-2>
 30. Arputharaj J.V., John William B.N., Haruna A.A., Prasad D.D. Exploring the synergy of IIoT, AI, and data analytics in Industry 6.0. In: Reddy C.K.K., Doss S., Pamulaparty L., Lippert K., Doshi R. eds. *Industry 6.0: Technology, Practices, Challenges, and Applications*. 1st ed. Boca Raton: CRC Press; 2024. <https://doi.org/10.1201/9781003517993-1P>
 32. Zahariev P., Hristov G.V., Chaisricharoen R., Bencheva N., Beloev I., Zlatov N., Hieu Le Ch., Georgiev G., Kyuchukova D. Industry 4.0 and beyond – present trends, emerging solutions and future technologies in the area of the industrial automation. In: *2024 Joint intern. conf. on digital arts, media and technology with ECTI northern section conference on electrical, electronics, computer and telecommunications engineering (ECTI DAMT & NCON)*. Chiang-mai, Thailand; 2024. P. 525–528. <https://doi.org/10.1109/ectidamtncn60518.2024.10479988>
 32. Reddy C.K.K., Doss S., Pamulaparty L., Lippert K., Dosh R. (eds.). *Industry 6.0: Technology, practices, challenges, and applications*. 1st ed. Boca Raton: CRC Press; 2024. 284 p. <https://doi.org/10.1201/9781003517993>
 33. Subbiah P., Tyagi A.K., Mazumdar B.D. The future of manufacturing and artificial intelligence industry 6.0 and beyond. In: Tyagi, A., Tiwari S., Ahmad S.S. (eds.). *Industry 4.0, smart manufacturing, and industrial engineering: challenges and opportunities*. 1st ed. Boca Raton: CRC Press; 2024. <https://doi.org/10.1201/9781003473886-18>
 34. Reddy M.S., Reddy C.K., Hanafiah M.M. Climate change mitigation and adaptation strategies enhanced by intelligent systems in Industry 6.0. In: Singh B., Kaunert C., Vig K., Dutta S. (eds.). *Maintaining a sustainable world in the nexus of environmental science and AI*. IGI Global; 2024. P. 201–228. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-6336-2.ch008>

35. Fernández-Miguel A., García-Muiña F.E., Settembre-Blundo D., Settembre Blundo D., Chiara Tarantino S. Exploring systemic sustainability in manufacturing: Geoanthropology's strategic lens shaping Industry 6.0. *Global Journal of Flexible Systems Management*. 2024;25(7):579–600. <https://doi.org/10.1007/s40171-024-00404-0>
36. Singh R., Tyagi A.K., Arumugam S.K. Imagining the sustainable future with Industry 6.0: A smarter pathway for modern society and manufacturing industries. In: Baby Maruthi P., Prasad S., Tyagi A. (eds.). *Machine learning algorithms using scikit and tensorflow environments*. IGI Global; 2024. P. 318–331. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-8531-6.ch016>
37. Almusaed A., Yitmen I., Almssad A. Reviewing and integrating AEC practices into Industry 6.0: Strategies for smart and sustainable future-built environments. *Sustainability*. 2023;15(18):13464. <https://doi.org/10.3390/su151813464>
38. Dass A., Mishra A.K., Ranjan R.K. Small states, big impact: A review of rising greenhouse gases emission from the energy sector in India. *Journal of Clean Energy Technologies*. 2024;1(1):43–52. <https://doi.org/10.3233/jcc240022>
39. Chourasia S., Tyagi A., Pandey S.M., Walia R.S., Murtaza Q. Sustainability of Industry 6.0 in global perspective: benefits and challenges. *MAPAN*. 2022;37(2):443–452. <https://doi.org/10.1007/s12647-022-00541-w>
40. Sharma A., Moses O., Sharma R., Gupta S. (eds.). *Sustainable innovation for Industry 6.0*. IGI Global; 2024. 491 p. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-3140-8>
41. Heilala J., Kantola J. Sustainable manufacturer engineering for Industry 6.0. In: Puik E., Cochran D.S., Foley J.T., Foith-Förster P. (eds.). *Proc. 15th Intern. Conf. on Axiomatic Design 2023. ICAD 2023. Lecture Notes in Networks and Systems*. Cham: Springer; 2024. Vol 849. P. 75–87. https://doi.org/10.1007/978-3-031-49920-3_5
42. Damaševičius R., Misra S. The rise of Industry 6.0: Seizing the opportunities of the post-COVID-19 era for sustainable manufacturing. In: Lakshmi D., Tyagi A. (eds.). *Emerging technologies and security in cloud computing*. IGI Global; 2024. P. 478–494. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-2081-5.ch020>
43. Jain R. Towards a green revolution: Sustainable integration of Industry 6.0 technologies and smart banking services in the UAE. In: Sharma A., Moses O., Sharma R., Gupta S. (eds.). *Sustainable innovation for Industry 6.0*. IGI Global; 2024. P. 31–44. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-3140-8.ch002>
44. Groumpos P.P. A critical historical and scientific overview of all industrial revolutions. *IFAC-PapersOnLine*. 2021;54(13):464–471. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.10.492>
45. Groumpos P.P. Ethical AI and global cultural coherence: Issues and challenges. *IFAC-PapersOnLine*. 2022;55(39):358–363. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.12.052>
46. Heilala J., Singh K. Evaluation planning for artificial intelligence-based Industry 6.0 metaverse integration. In: Ahram T., Karwowski W., Di Bucchianico P., Taiar R., Casarotto L., Costa P. (eds.). *Intelligent Human Systems Integration (IHSI 2023): Integrating people and intelligent systems*. USA: AHFE International; 2023. Vol. 69. <https://doi.org/10.54941/ahfe1002892>
47. Reddy C.K.K., Reddy A.V., Doss S., Priyanka K. Human-machine collaboration and emotional intelligence in Industry 6.0: Concepts, challenges, and future directions. In: Nijalingappa P., Gururaj T., Goyal S., Shukla V., Bruno A. (eds.). *Examining the metaverse in healthcare: Opportunities, challenges, and future directions*. IGI Global; 2024. P. 221–246. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-1515-6.ch009>
48. Murugan M., Prabadevi M.N. Impact of Industry 6.0 on MSME entrepreneur's performance and entrepreneur's emotional intelligence in the service industry in India. *Revista De Gestão Social E Ambiental*. 2023;17(4):e03340. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v17n4-007>
49. Chourasia S., Pandey S.M., Keshri A.K. Prospects and challenges with legal informatics and legal metrology framework in the context of Industry 6.0. *MAPAN*. 2023;38:1027–1052. <https://doi.org/10.1007/s12647-023-00664-8>
50. Das S., Pan T.A. *Strategic outline of Industry 6.0: Exploring the future*. AHFE International; 2023. 10 p. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4104696>
51. Peng M., Garg S., Wang X., Bradai A., Lin H., Hosain M.S. Learning-based IoT data aggregation for disaster scenarios. *IEEE Access*. 2020;8:128490–128497. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3008289>
52. Mutiarachim A., Tyoso J.SP. Pelatihan Pembuatan media promosi mudah dan menarik dengan aplikasi canva untuk UMKM di desa blerong kabupaten demak. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Nusantara (JPMN)*. 2024;4(1):1–9. <https://doi.org/10.35870/jpmn.v4i1.2654>
53. Jamil S., Rahman M., Abbas M.S., Fawad. Resource allocation using reconfigurable intelligent surface (RIS)-assisted wireless networks in Industry 5.0 scenario. *Telecom*. 2022;3(1):163–173. <https://doi.org/10.3390/telecom3010011>
54. Obiako I., Walker S., Lippert K., Cloutier R. Using the fuzzy analytic hierarchy process for selecting a closed sociotechnical environment for autonomous vehicle testing in the world of Industry 6.0. In: Reddy C.K.K., Doss S., Pamulaparty L., Lippert K., Doshi R. (eds.). *Industry 6.0: Technology, practices, challenges, and applications*. 1st ed. Boca Roton: CRC Press; 2024. <https://doi.org/10.1201/9781003517993-7>
55. Ganga P.R., Reddy C.K.K., Lippert K., Ranjan A. Aero metamorphosis in Industry 6.0. In: Reddy C.K.K., Doss S., Pamulaparty L., Lippert K., Doshi R. (eds).

- Industry 6.0: Technology, practices, challenges, and applications*. 1st ed. Boca Roton: CRC Press; 2024. <https://doi.org/10.1201/9781003517993-4>
56. Jain P.K., Bhagat P.H. Community engagement and stakeholder collaboration for inclusive E-banking: A sustainable innovation approach in Industry 6.0. In: Sharma A., Moses O., Sharma R., Gupta S. (eds.). *Sustainable innovation for Industry 6.0*. IGI Global; 2024. P. 45–58. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-3140-8.ch003>
57. Vetrivel S.C., Gomathi T., Sowmiya K.C., Saba-reeshwari V. Customer-centric excellence in the Marketing 6.0 era: Industry 6.0. In: Oskounejad M., Nozari H. (eds.). *Advanced businesses in Industry 6.0*. IGI Global; 2024. P. 192–219. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-3108-8.ch013>
58. Kour M., Kour R. AI and influencer marketing: Redefining the future of social media marketing in Industry 6.0. In: Oskounejad M., Nozari H. (eds.). *Advanced businesses in Industry 6.0*. IGI Global; 2024. P. 87–103. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-3108-8.ch007>
59. Salepcioglu M.A. Artificial and remote management model: Industry 6.0 increased virtual and artificial audit. *PressAcademia Procedia (PAP)*. 2021;13(1):114–115. <http://doi.org/10.17261/Pressacademia.2021.1441>
60. Movahed A.B., Movahed A.B., Aliahmadi B., Nozari H. Green and sustainable supply chain in Agriculture 6.0. In: Oskounejad M., Nozari H. (eds.). *Advanced businesses in Industry 6.0*. IGI Global; 2024. P. 32–45. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-3108-8.ch003>
61. Aliahmadi M.H., Movahed A.B., Movahed A.B., Nozari H., Bayanati M. Hospital 6.0 components and dimensions. In: Oskounejad M., Nozari H. (eds.). *Advanced businesses in Industry 6.0*. IGI Global; 2024. P. 46–61. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-3108-8.ch004>
62. Jeyaraman M., Nallakumarasamy A., Jeyaraman N. Industry 5.0 in orthopaedics. *JOIO*. 2022;56:1694–1702. <https://doi.org/10.1007/s43465-022-00712-6>
63. Ifezue O., Lippert K., Walker S., Cloutier R. *Industry 6.0 in transportation systems*. CRC Press; 2024. 33 p. <https://doi.org/10.1201/9781003517993-5>
64. Movahed Am.B., Movahed Al.B., Nozari H. Marketing 6.0 conceptualization. In: Oskounejad M., Nozari H. (eds.). *Advanced businesses in Industry 6.0*. IGI Global; 2024. P. 15–31. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-3108-8.ch002>
65. Yadav S., Rab S., Wan M. Metrology and sustainability in Industry 6.0: Navigating a new paradigm. In: Bhatnagar A., Yadav S., Achanta V., Harnes-Liedtke U., Rab S. (eds.). *Handbook of Quality System, Accreditation and Conformity Assessment*. Singapore: Springer; 2024. P. 1–31. https://doi.org/10.1007/978-981-99-4637-2_64-1
66. Singh R.K., Tiwari S.K., Kumar K. Optimizing ordering policies for bullwhip effect mitigation in a simple supply chain within the framework of Industry 6.0. In: Sharma A., Moses O., Sharma R., Gupta S. (eds.). *Sustainable innovation for Industry 6.0*. IGI Global; 2024. P. 139–161. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-3140-8.ch009>
67. Movahed Al.B., Movahed Am.B., Nozari H., Rahmaty M. Security criteria in financial systems in Industry 6.0. In: Oskounejad M., Nozari H. (eds.). *Advanced businesses in Industry 6.0*. IGI Global; 2024. P. 62–74. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-3108-8.ch005>
68. Srivastava A., Kumari G., Pathania A. Technological innovation and accounting in Industry 6.0: Application, implication, and future. In: Sharma A., Moses O., Sharma R., Gupta S. (eds.). *Sustainable innovation for Industry 6.0*. IGI Global; 2024. P. 286–309. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-3140-8.ch015>
69. Goel P.K. Education research and Industry 6.0. In: Sharma A., Moses O., Sharma R., Gupta S. (eds.). *Sustainable innovation for Industry 6.0*. IGI Global; 2024. P. 92–108. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-3140-8.ch006>
70. Doyle-Kent M., Kopacek P. Optimising human potential through diversity and inclusion for Industry/Production 4.0, 5.0 and 6.0. In: Durakbasa N.M., Gençylmaz M.G. (eds.). *Towards Industry 5.0*. ISPR 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Cham: Springer; 2023. P. 267–276. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24457-5_22
71. Pathak S., Arora K., Quraishi S.J. Strategic challenges of human resources management in the Industry 6.0. In: Kumar B.R., Abdul Hamid A., Inayah Binti Ya'akub N., Sharma Gaur M., Kumar S. (eds.). *Futuristic e-governance security with deep learning applications*. IGI Global; 2024. P. 169–190. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-9596-4.ch009>
72. Minz N.K. Strategic HRM techniques and sustainable innovation for Industry 6.0. In: Sharma B.A., Moses O., Sharma R., Gupta S. (eds.). *Sustainable innovation for Industry*. IGI Global; 2024. 15 P. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-3140-8.ch004>
73. Trivedi Sh. *Industry 6.0: The hyper-connected future of manufacturing and supply chains*. April 9, 2024. Available at: <https://managemententhusiast.com/industry-6-0-the-hyper-connected-future-of-manufacturing-and-supply-chains/> (accessed on 11.10.2024).
74. CFI Team. *Intelligent Manufacturing System (IMS). A modern system of manufacturing that integrates the abilities of humans, machines, and processes*. Available at: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/valuation/intelligent-manufacturing-system-ims/> (accessed on 11.10.2024).
75. Meyer R. *Leading edge technologies. From the slide rule to the cloud*. liquidtool systems AG. 2021. 36 p.

- Available at: <https://liquidtool.com/wp-content/uploads/2021/03/leading-edge-technologies.pdf> (accessed on 18.10.2024).
76. Babica V., Sceulovs D. Business processes in the artificial transformation of Industry 5.0. In: Callaos N., Hashimoto S., Lace N., Barbat B. (eds.). *Proceed. of the 16th Inter. multi-conference on society, cybernetics, and informatics: IMCIC 2024. Virtual conf. March 26–29, 2024*. 2024. P. 199–203. <https://doi.org/10.54808/IMCIC2024.01.170>
77. He Q., Li L., Li D., Peng T., Zhang X., Cai Y., 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>
78. Chandrasekaran A. *Spotlight on 2024 Gartner Hype Cycle™ for emerging technologies*. October 10, 2024. Available at: <https://www.gartner.com/en/articles/hype-cycle-for-emerging-technologies> (accessed on 18.10.2024).
79. Ames Research Center. *Human factors model*. January 1, 1993. Available at: <https://ntrs.nasa.gov/citations/20020080993> (accessed on 17.10.2024).
80. Bubb H. *Why do we need digital human models? DHM and Posturography*. Germany, Munich, Garching: Institute of Ergonomics, Technical University; 2019. Ch. 2. P. 7–32. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816713-7.00002-7>
81. *Too good to be true? Toyota's new chairs boost health as you sit*. Available at: https://toyotatimes.jp/en/series/beyondmobility/018_1.html#anchorTitles (accessed on 18.10.2024).
82. Wu C., Liu Y. Queuing network modeling of driver workload and performance. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2007;8(3):528–537. <https://www.doi.org/10.1109/TITS.2007.903443>
83. Banks J.J., Umberger B.R., Caldwell G.E. EMG optimization in OpenSim: A model for estimating lower back kinetics in gait. *Medical Engineering & Physics*. 2022;103:103790. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2022.103790>
84. Borst J.P., Anderson J.R. A step-by-step tutorial on using the cognitive architecture ACT-R in combination with fMRI data. *Journal of Mathematical Psychology*. 2017;76:94–103. <https://doi.org/10.1016/j.jmp.2016.05.005>
85. Eliasmith Ch., Stewart T.C., Choo X., Bekolay T., Dewolf T., Tang Ch., Rasmussen D. A large-scale model of the functioning brain. *Science*. 2012;338(6111):1202–1205. <https://doi.org/10.1126/science.1225266>
86. Johnson Z., Saikia M.J. Digital twins for healthcare using wearables. *Bioengineering*. 2024;11(6):606. <https://doi.org/10.3390/bioengineering11060606>
87. 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;13:31. <https://doi.org/10.1186/s13677-024-00691-z>
88. Asad U., Khan M., Khalid A., Lughmani W.A. Human-centric digital twins in industry: A comprehensive review of enabling technologies and implementation strategies. *Sensors*. 2023;23(8):3938. <https://doi.org/10.3390/s23083938>
89. Акаев А.А., Садовничий В.А. Человеческий фактор как определяющий производительность труда в эпоху цифровой экономики. *Проблемы прогнозирования*. 2021;1(184):45–58. <https://doi.org/10.47711/0868-6351-184-45-58>
Akaev A.A., Sadovnichii V.A. The human component as a determining factor of labor productivity in the digital economy. *Problemy prognozirovaniya = Problems of Forecasting*. 2021;1(184):45–58. (In Russ.). <https://doi.org/10.47711/0868-6351-184-45-58>
90. Казьмина И.В., Белгородский А.В., Бокорев Ю.Ю. Предвидение как основа повышения устойчивости функционирования высокотехнологичных предприятий. *Организатор производства*. 2023;31(2):66–75. <https://doi.org/10.36622/VSTU.2023.32.59.006>
Kazmina I.V., Belgorodsky A.V., Bokorev Yu.Yu. Foresight as a basis for increasing the stability of high-tech enterprises. *Organizer of Production*. 2023;31(2):66–75. (In Russ.). <https://doi.org/10.36622/VSTU.2023.32.59.006>
91. Сатановский Р.Л., Элент Д. Парадигма активной адаптации организации производства в условиях цифровой циркулярной экономики. *Организатор производства*. 2023;31(2):9–19. <https://doi.org/10.36622/VSTU.2023.32.59.001>
Satanovsky R.L., Ellent D. The paradigm of active adaptation of production organization in the digital circular economy. *Organizer of Production*. 2023;31(2):9–19. (In Russ.). <https://doi.org/10.36622/VSTU.2023.32.59.001>
92. Акаев А.А. Большие циклы конъюнктуры и инновационно-циклическая теория экономического развития Шумпетера–Кондратьева. *Экономическая наука современной России*. 2013;(2(61)):7–29.
Akaev A.A. Long waves of conjuncture and Schumpeter–Kondratyev innovation-cyclical theory of economic development. *Economics of Contemporary Russia*. 2013;(2(61)):7–29. (In Russ.)
93. Laloux F. *Reinventing organizations*. Belgium, Brussels: Nelson Parker; 2014. 360 p.
94. Лapidус Л.В. Эволюция цифровой экономики. В сб.: *Ломоносовские чтения-2018. Секция экономических наук. Цифровая экономика: человек, технологии, институты: сб. тез. выступлений*. М.: Экон. фак-т МГУ им. М.В. Ломоносова; 2018. С. 153–158.
95. Лapidус Л.В. Вызовы цифровой экономики как триггеры цифровой трансформации: эволюционная шкала и причинно-следственные связи. Интеллект. *Инновации. Инвестиции*. 2023;(3):11–27. <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-3-11>
Lapidus L.V. The digital economy challenges as the digital transformation triggers: evolutionary

- scale and the cause-and-effect relationships. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii = Intellect. Innovations. Investments*. 2023;(3):11–27. (In Russ.). <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-3-11>
96. Önday Ö. Web 6.0: Journey from Web 1.0 To Web 6.0. *Journal of Media & Management*. 2019;1(1):6. Available at: <https://www.onlinescientificresearch.com/articles/web-60-journey-from-web-10-to-web-60.pdf> (accessed on 18.10.2024).
97. Król K. Evolution of online mapping: from Web 1.0 to Web 6.0. *Geomatics, Landmanagement and Landscape*. 2020;(1):33–51. <https://doi.org/10.15576/GLL/2020.1.33>
98. Jiang J.H., Feng F., Rosen P.E., Fahy K.A., Das P., Obacz P., Zhang A., Zhu Z.-H. Avoiding the great filter: Predicting the timeline for humanity to reach Kardashev type I Civilization. *Galaxies*. 2022;10(3):68. <https://doi.org/10.3390/galaxies10030068>
99. Panchin A.Y., Ogmen A., Blagodatski A.S., Egorova A., Batin M., Glinin T. Targeting multiple hallmarks of mammalian aging with combinations of interventions. *Aging*. 2024;16(16):12073–12100. <https://doi.org/10.18632/aging.206078>

Информация об авторах

Александр Васильевич Бабкин – д-р экон. наук, профессор, научный руководитель лаборатории «Цифровая экономика промышленности», Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, литера Б, Российская Федерация; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0941-6358>; e-mail: al-vas@mail.ru

Елена Витальевна Шкарупета – д-р экон. наук, профессор, профессор кафедры цифровой и отраслевой экономики, Воронежский государственный технический университет, 394071, Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84, Российская Федерация; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3644-4239>; e-mail: 9056591561@mail.ru

Information about the authors

Aleksandr V. Babkin – Dr.Sci. (Econ.), Professor, Scientific Director of the Laboratory “Digital Economics of Industry”, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29B Polytechnicheskaya Str., St. Petersburg 195251, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0941-6358>; e-mail: al-vas@mail.ru

Elena V. Shkarupeta – Dr.Sci. (Econ.), Professor, Professor of the Department of the Digital and Industrial Economics, Voronezh State Technical University, 84 20-letiya Oktyabrya Str., Voronezh 394071, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3644-4239>; e-mail: 9056591561@mail.ru

Поступила в редакцию 14.10.2024; поступила после доработки 20.11.2024; принята к публикации 20.11.2024

Received 14.10.2024; Revised 20.11.2024; Accepted 20.11.2024