

Экономика наукоемких и высокотехнологичных предприятий и производств.
Управление в организационных системах
Economics of knowledge-intensive and high-tech enterprises and industries.
Management in organizational systems

УДК 330.342.24
<https://doi.org/10.32362/2500-316X-2025-13-4-123-134>
EDN XXKOTU



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

Промышленные революции: от Индустрии 3.0 к Индустрии 5.0 в контексте российской экономики

Н.Н. Карпухина[®],
Е.С. Митяков,
А.Ю. Пронин

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, 119454 Россия
[®] Автор для переписки, e-mail: karpukhina@mirea.ru

• Поступила: 31.07.2024 • Доработана: 27.01.2025 • Принята к опубликованию: 24.04.2025

Резюме

Цели. Цель статьи – доказать, что принципы Индустрии 5.0 являются необходимым развитием для классической модели экономического роста, предложенной Солоу. В статье модель Солоу адаптирована и расширена новыми факторами, которые учитывают технологический прогресс, социальные и экологические аспекты и в контексте российской экономики оказывают влияние на долгосрочное развитие и экономический рост.

Методы. Основные результаты работы получены с помощью сравнительного анализа отличительных особенностей Индустрии 3.0, Индустрии 4.0 и Индустрии 5.0, расширенной модели Солоу и экспертного опроса для оценки факторов, влияющих на экономический рост.

Результаты. Для обоснования необходимости перехода к более перспективным моделям производства и развития выделены основные отличительные особенности Индустрии 3.0, Индустрии 4.0 и Индустрии 5.0, определяемые уникальной ориентацией, технологиями, целями, подходами к работе с данными и типами интерфейсов. Установлено, что российская экономика пока недостаточно готова к вызовам Индустрии 5.0. Доказано, что принципы Индустрии 5.0 расширяют такие факторы модели экономического роста Солоу, как труд, капитал и технологический прогресс, добавляя человеческий капитал, природные ресурсы и уровень технологий. Для оценки вклада факторов в производственные процессы проведен опрос экспертов. Расширенная модель Солоу является инструментом для разработки конкретных стратегий в области экономической политики на основе анализа взаимосвязанных факторов.

Выводы. Переход к технологиям Индустрии 4.0 и последующее планирование внедрения технологий Индустрии 5.0 являются необходимыми шагами для создания инновационной и конкурентоспособной экономики. Проведенный опрос экспертов доказал разный вклад факторов в производственные процессы: уменьшение роли капитала и труда, рост значимости человеческого капитала, технологического развития и природных ресурсов в Индустрии 5.0. Такие приоритеты Индустрии 5.0 не только не противоречат экономическому росту, но и могут его усилить в долгосрочной перспективе.

Ключевые слова: Индустрия 3.0, Индустрия 4.0, Индустрия 5.0, технологии, сравнительный анализ, модель Солоу, человеческий капитал, цифровизация, инновационная экономика

Для цитирования: Карпухина Н.Н., Митяков Е.С., Пронин А.Ю. Промышленные революции: от Индустрии 3.0 к Индустрии 5.0 в контексте российской экономики. *Russian Technological Journal*. 2025;13(4):123–134. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2025-13-4-123-134>, <https://www.elibrary.ru/XXKOTU>

Прозрачность финансовой деятельности: Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

RESEARCH ARTICLE

Industrial revolutions: From Industry 3.0 to Industry 5.0 in the context of the Russian economy

Natalia N. Karpukhina[@],
Evgeny S. Mityakov,
Aleksey Yu. Pronin

MIREA – Russian Technological University, Moscow, 119454 Russia

[@] Corresponding author, e-mail: karpukhina@mirea.ru

• Submitted: 31.07.2024 • Revised: 27.01.2025 • Accepted: 24.04.2025

Abstract

Objectives. The study set out to substantiate the principles of Industry 5.0 as a necessary development for the classical model of economic growth proposed by Solow. An adapted and expanded Solow model is presented that takes into account technological progress, as well as social and environmental aspects, which influence long-term development and economic growth in the context of the Russian economy.

Methods. The main results of the work are obtained through a comparative analysis of the distinctive features of Industry 3.0, Industry 4.0, and Industry 5.0 in the context of an extended Solow model and an expert survey to assess the factors influencing economic growth.

Results. In order to substantiate the necessity of transition to more promising models of production and development, the main distinguishing features of Industry 3.0, Industry 4.0, and Industry 5.0, are shown to be determined by unique orientations, technologies, objectives, approaches to working with data, and types of interfaces. The Russian economy is shown to be insufficiently prepared for the challenges of Industry 5.0. The principles of Industry 5.0 apply to such factors of the Solow economic growth model as labor, capital, and technological progress, as well as human capital, natural resources, and the current technological level. A survey of experts was conducted to assess the contribution of factors to production processes. The extended Solow model is a convenient tool for developing specific economic policy strategies based on the analysis of the interrelated factors.

Conclusions. The transition to Industry 4.0 technologies and subsequent planning for the implementation of Industry 5.0 technologies are necessary steps prior to the creation of an innovative and competitive economy. The conducted expert survey exemplified the different contributions of various factors to Industry 5.0 production processes, including a decrease in the role of capital and labor, along with a concomitant increase in the importance of human capital, technological development, and natural resources. This transition is evidenced by the presented numerical values for the Solow model coefficients for Industry 3.0, Industry 4.0, and Industry 5.0. Such Industry 5.0 priorities not only do not contradict economic growth, but can be expected to enhance it in the long term.

Keywords: Industry 3.0, Industry 4.0, Industry 5.0, technologies, comparative analysis, Solow model, human capital, digitalization, innovative economy

For citation: Karpukhina N.N., Mityakov E.S., Pronin A.Yu. Industrial revolutions: From Industry 3.0 to Industry 5.0 in the context of the Russian economy. *Russian Technological Journal*. 2025;13(4):123–134. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2025-13-4-123-134>, <https://www.elibrary.ru/XXKOTU>

Financial disclosure: The authors have no financial or proprietary interest in any material or method mentioned.

The authors declare no conflicts of interest.

ВВЕДЕНИЕ

В современной России наблюдаются два ярко выраженных направления экономического развития, которые делают ее уникальной. В период с 2000 по 2010 гг., произошло формирование «экономики знаний», ориентированной на новейшие знания, инновации и развитие информационного общества. Затем с 2010 г. активно развернулся процесс всеобщей цифровизации, который привел к развитию цифровых инноваций и усилению цифровой конкуренции [1].

Необходимо отметить, что цифровизация в России существенно отличается по отраслям. Так, по данным Министерства цифрового развития, на начало 2024 г. более 90% государственных услуг предоставлялись в электронном формате через портал Госуслуги¹. Российский финансовый сектор всегда был лидером по внедрению цифровых технологий², ритейл-компании также постоянно увеличивают бюджет на информатизацию, внедряя комплексные решения³. В то же время уровень цифровизации промышленных предприятий существенно отличается хаотичным использованием отдельных цифровых решений. Согласно исследованию российской консалтинговой компании SBS Consulting, уровень цифровой зрелости крупных и средних компаний обрабатывающей промышленности в России составляет лишь 26.6%⁴.

В настоящее время важным аспектом цифровой трансформации промышленности является

использование цифровых решений: во-первых, для повышения эффективности производства и, во-вторых, для деятельности предприятия в целом, что позволяет оперативно реагировать на возникающие проблемы [2]. Поэтому многие российские предприятия промышленных отраслей критически зависимы от внедрения технологий Индустрии 4.0. А дефицит рабочей силы и необходимость повышения производительности труда еще больше обуславливают эту зависимость⁴.

Хаотичное внедрение технологических решений на промышленных предприятиях, присущее Индустрии 3.0, выявило ряд ключевых проблем в контексте Индустрии 4.0: вероятное устранение фактора, связанного с человеческой деятельностью; опасность для окружающей среды; несоответствие между различными аспектами экономики, включая неэффективное производство и потребление, существенную социальную дифференциацию, социальную нестабильность и др. [3].

В настоящее время вектор развития мировой экономики и, соответственно, научных исследований меняет свое направление с роботизации и автоматизации, присущих Индустрии 4.0, на разработку социоцентрических и экологически устойчивых технологий. В центре внимания оказываются системы «человек-машина», в которых человек выступает в роли креативного участника и сотрудничает с роботами. Механистическая реальность Индустрии 4.0 с ее акцентом на роботизацию и автоматизацию постепенно меняет вектор, все больше обращаясь к гуманистическим тенденциям. Традиционные предприятия уступают место цифровой экосистеме, что открывает новые возможности для экономики, но также несет риски цифровой монополизации в виртуальных секторах [4]. В свете этих изменений становится очевидной необходимость перехода к Индустрии 5.0.

Индустрия 5.0, как новая промышленная модель, возникает за счет расширения Индустрии 4.0. Индустрия 5.0 предвещает кратное увеличение производственной эффективности и гибкости за счет автоматизации, оптимизации процессов и улучшения сотрудничества между человеком и технологической средой. Вместе с угрозой потери рабочих мест в результате внедрения технологий Индустрии 4.0, Индустрия 5.0 открывает новые возможности для создания специализированных рабочих мест,

¹ Цифровизация в России: новые векторы развития в 2024 году. <https://www.sostav.ru/blogs/277074/50927>. Дата обращения 10.11.2024. [Digitalization in Russia: New Development Vectors in 2024. <https://www.sostav.ru/blogs/277074/50927> (in Russ.). Accessed November 10, 2024.].

² Цифровизация финансового сектора 2024. <https://generation-startup.ru/calendar/82432/>. Дата обращения 10.11.2024. [Digitalization of the financial sector 2024. <https://generation-startup.ru/calendar/82432/> (in Russ.). Accessed November 10, 2024.].

³ Три тренда IT в eCommerce в 2024 году. <https://www.retail.ru/rbc/pressreleases/tri-trenda-it-v-e-commerce-v-2024-godu/>. Дата обращения 10.11.2024. [Three IT trends in eCommerce in 2024. <https://www.retail.ru/rbc/pressreleases/tri-trenda-it-v-e-commerce-v-2024-godu/> (in Russ.). Accessed November 10, 2024.].

⁴ Анализ уровня цифровизации российских предприятий обрабатывающей промышленности. <https://www.tadviser.ru>. Дата обращения 10.11.2024. [Analysis of the digitalization level of Russian manufacturing enterprises. <https://www.tadviser.ru> (in Russ.). Accessed November 10, 2024.].

связанных с управлением и обслуживанием новых технологий.

Целесообразность перехода от Индустрии 3.0 к Индустрии 4.0 и Индустрии 5.0 особенно актуальна для российской экономики, когда технологии становятся критическим фактором конкурентоспособности и необходимы для обеспечения технологического суверенитета страны. Индустрия 5.0 представляет собой качественно новый этап развития производственных процессов, характеризующийся акцентом на человекоцентричный подход и концепцию устойчивого развития. Внедрение инновационных технологий в этой парадигме значительно повышает производственную эффективность, что становится особенно важным в контексте демографических изменений, сокращения трудовых ресурсов и необходимости повышения уровня жизни населения. Адаптация российской экономики к данным вызовам требует комплексного анализа и разработки системных решений, что подчеркивает актуальность данного исследования.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В настоящее время наблюдается значительный рост числа научных публикаций, посвященных различным аспектам Индустрии 5.0 [5]. Большинство современных работ фокусируется на глобальных проблемах устойчивого развития, здравоохранения, образования, промышленности, развития технологий и др. В современных исследованиях находят отражение различные взгляды на терминологию предметной области, вопросы о том, является ли Индустрия 5.0 новой парадигмой или очередным этапом развития Индустрии 4.0.

По мнению С. Нахаванди, Индустрия 5.0 – это видение будущего человечества. При этом производство в рамках Индустрии 5.0 сочетает в себе преимущества передовых технологий с творческими способностями и навыками решения проблем человеком, что позволяет сделать производственные процессы более эффективными и гибкими, а также снизить риск несчастных случаев и травм [6]. Автор утверждает, что пятая промышленная революция наступит, когда интеллектуальные устройства полностью интегрируются с человеческим разумом и физическим миром. Такое сотрудничество обеспечит высокую эффективность, гибкость производства и минимизацию отходов.

В работе [7] декларируется, что Индустрия 5.0 – это расширение опыта конечного потребителя за счет применения различных доступных инструментов, включая искусственный интеллект и робототехнику. В статье [8] изложен подход к проектированию, при котором люди-операторы и интеллектуальные машины образуют совместные команды.

В статье [9] авторы представляют Индустрию 5.0 как парадигму, предназначенную для преодоления глобальных социальных проблем, возникших в результате предшествующих промышленных революций. По мнению исследователей, данная парадигма базируется на идее интеллектуальной среды, ориентированной на человека, и его взаимодействии с роботизированными системами.

В работе [10] под Индустрией 5.0 понимается обновленный человекоцентричный промышленный архетип, который трансформирует процессы промышленного производства. В качестве технологий, способствующих этой трансформации, представлены искусственный интеллект, блокчейн и Интернет вещей.

В статье [11] дан обзор преимуществ взаимодействия человека и технологической среды при автоматизации производств. Авторы считают Индустрию 5.0 эволюцией Индустрии 4.0, в которой творческий человек сотрудничает с интеллектуальными системами с целью повышения эффективности, быстродействия и масштабируемости производственных систем. В работе [12] Индустрия 5.0 также рассматривается как продолжение Индустрии 4.0 с большим упором на человеко-ориентированное взаимодействие с компьютером.

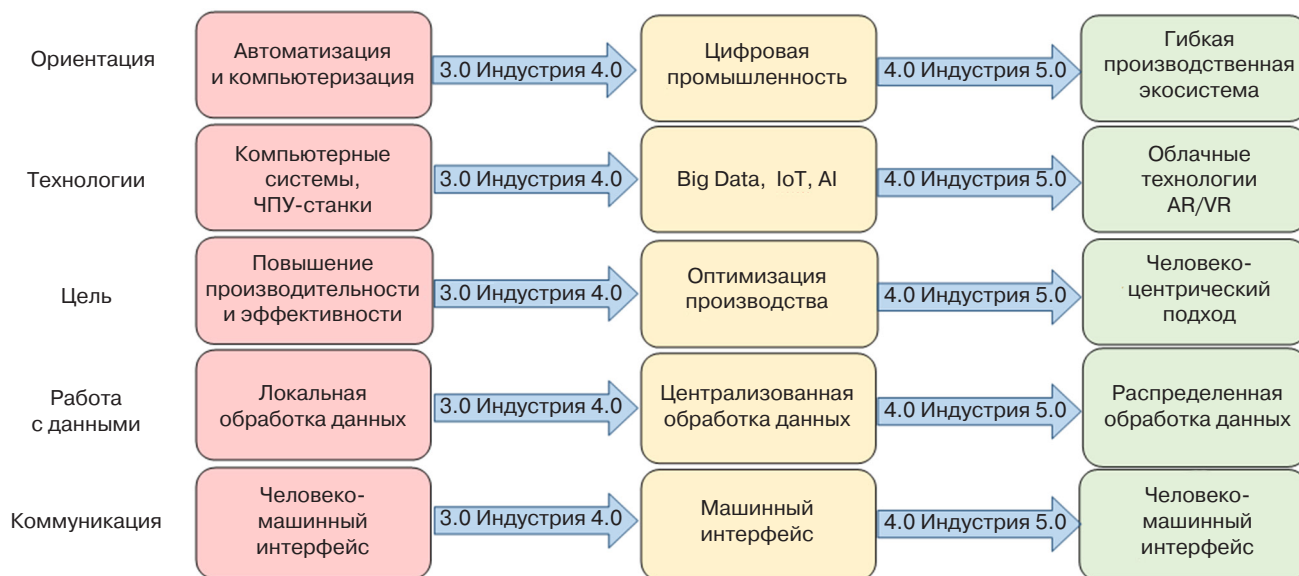
Работа [13] посвящена образованию и необходимым навыкам и компетенциям работников для адаптации к Индустрии 5.0 и изменениям в университетском ландшафте.

Ряд авторов исследуют общие аспекты Индустрии 5.0 и Индустрию 4.0 параллельно. Например, в работе [14] дано описание технологических элементов, общих для Индустрии 4.0 и Индустрии 5.0.

Российские исследователи также рассматривают проблематику Индустрии 5.0. Так, обзорные исследования представлены в трудах [15] и [16]. В статье [17] декларируется, что Индустрия 5.0 представляет собой интеграцию виртуального и реального миров. Авторы работы [18] отмечают преимущества технологий Индустрии 5.0 для нефтегазовых компаний.

В работе [19] рассматривается проблема диагностики мезоэкономических систем, находящихся в процессе эволюции к Индустрии 5.0. Авторы выдвигают и обосновывают гипотезу о существовании базовых факторов, влияющих на развитие экономической системы в условиях этого перехода, и предлагают классификацию методов исследования таких систем.

В целом, анализ научной литературы показал, что готовность российской экономики к ответу на вызовы Индустрии 5.0 изучена недостаточно. В заключении приведенного обзора публикаций



Источники: разработано авторами на основе [21, 22]

Рисунок. Основные отличительные особенности Индустрии 3.0, Индустрии 4.0 и Индустрии 5.0.
ЧПУ – числовое программное управление, IoT – Internet of things (Интернет вещей),
AI – Artificial Intelligence (искусственный интеллект)

по рассматриваемой тематике следует отметить, что Индустрия 5.0 является относительно новым понятием и несмотря на заметный рост числа работ в данном направлении, формирование стратегий перехода на технологии Индустрии 5.0, пока носит фрагментарный характер и представлено в национальных программах некоторых стран (можно выделить программу Евросоюза «Индустрия 5.0, «Сделано в Китае – 2025» и японское «Общество 5.0») [20].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ публикаций позволил выделить основные отличительные особенности Индустрии 3.0, Индустрии 4.0 и Индустрии 5.0 (рисунок), определяемых своей уникальной ориентацией, технологиями, целями, подходами к работе с данными и типами интерфейсов.

Каждая последующая промышленная революция представляет собой значительный шаг в развитии технологий и методов производства, направленный на повышение эффективности, гибкости и учета человеческого фактора в производственных процессах. Отметим, что в Индустрии 5.0 интерфейс между человеком и технологической средой значительно усовершенствован и включает продвинутое технологии, такие как виртуальная (virtual reality, VR) и дополненная (augmented reality, AR) реальности.

Ряд ученых-экономистов характеризуют Индустрию 5.0 как «революцию человеческого участия», где промышленный рост органично

сочетается с решением социо-экономических вопросов через синергию кибернетического и физического пространств [23]. Одним из преимуществ такой синергии выступает объединение интеллектуальных систем с текущими рабочими процессами, в результате происходит рост операционной эффективности в целом.

Представленная на рисунке эволюция актуальна в контексте российской экономики. В настоящее время Россия активно стремится к ускоренному внедрению цифровых технологий. Так, в 2017 г. Министерство промышленности и торговли Российской Федерации инициировало национальную программу «4.0 RU»⁵, нацеленную на цифровую трансформацию всех этапов производственного процесса в соответствии с концепцией Индустрии 4.0. Однако с запуском национального проекта «Цифровая экономика»⁶ в 2018 г. акцент сместился в сторону внедрения так называемых «сквозных технологий», направленных преимущественно на улучшение социальной сферы, включая системы идентификации и цифровые сервисы для населения. Это смещение приоритетов обусловило замедление процессов цифровизации в промышленном секторе, а также отсутствие интегрированной цифровой инфраструктуры на уровне предприятий,

⁵ <https://niieap.com/2017/07/24/minpromtorg-rossii-i-ryad-vysokotehnologichnyh-kompanij-predstavili-tsifrovoj-proekt-v-sfere-aviastroeniya-industriya-4-0/>. Дата обращения 10.11.2024. / Accessed November 10, 2024.

⁶ <http://government.ru/info/35568/>. Дата обращения 10.11.2024. / Accessed November 10, 2024.

что затрудняет реализацию единой цифровой среды в рамках национальной экономики.

Нормативные документы, включая национальную программу «Цифровая экономика» и девять федеральных проектов, входящих в ее состав, в т.ч. федеральный проект «Цифровые технологии», а также разрабатываемый национальный проект «Экономика данных»⁷, находящийся в повестке органов государственной власти, свидетельствуют о продолжающейся цифровизации государственных структур и социальной сферы. Тем не менее, для полноценной цифровой трансформации российской промышленности необходимо восстановление приоритетов в области цифровизации производственных процессов и разработка специализированных программных документов, направленных на поддержку предприятий реального сектора экономики.

Кроме этого, в настоящих программных документах недостаточно учтен человеческий фактор, который играет центральную роль в Индустрии 5.0. Также следует учитывать вопросы доступности и инклюзивности новых цифровых решений для всех слоев общества, чтобы избежать углубления цифрового разрыва. Важно осознавать, что экономика данных не сводится только к простому использованию новых цифровых технологий в экономике, обществе и повседневной жизни. Она также включает в себя создание собственной научной, образовательной, технологической, промышленной, социально-экономической и культурной базы для обеспечения технологического суверенитета страны через импортозамещение, последующее импортоопережение и интеграцию в мировые цепочки добавленной стоимости.

Переход к Индустрии 5.0 в России сопровождается не только перспективами, но и вызовами. Поскольку внедрение инновационных технологий требует высококвалифицированных специалистов, одним из ключевых вызовов является необходимость подготовки и переквалификации трудовых ресурсов. Помимо этого, можно отметить следующие вызовы: экспоненциальный рост объема данных, повышение уязвимости к кибератакам, сокращение рабочих мест на предприятиях, отсутствие учета этических вопросов искусственного интеллекта и др. Вместе с тем, Индустрия 5.0 предполагает повышение эффективности производственных процессов за счет автоматизации и совершенствования взаимодействия между технологической средой и человеком. Индустрия 5.0 открывает новые перспективы для создания рабочих мест, связанных с обслуживанием новых технологий.

Важно отметить, что переход к Индустрии 4.0 и Индустрии 5.0 не подразумевает автоматический и немедленный переход для всех предприятий народного хозяйства. Внедрение новых технологий и методов управления на отдельных предприятиях может служить катализатором для других, создавая эффект снежного кома, когда количество вовлеченных предприятий увеличивается со временем. Осознание тенденций и проблем Индустрий 4.0 и 5.0 необходимо для того, чтобы российские предприятия могли максимально использовать свои ресурсы и возможности, а также успешно завершить переход к Индустрии 4.0.

Несмотря на значительные перспективы перехода к Индустрии 5.0, данный процесс в российской экономике сталкивается с рядом серьезных барьеров. Ключевыми среди них выступают недостаточная готовность технологической инфраструктуры и ограниченные инвестиции в исследовательскую и инновационную деятельность. Текущий уровень оснащенности предприятий, как правило, не соответствует требованиям Индустрии 5.0, что замедляет внедрение передовых технологий. Ограниченные инвестиции в научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы также существенно сдерживают инновационное развитие [24]. Устранение названных барьеров требует комплексного подхода и государственной поддержки.

С учетом того, что Индустрия 5.0 «представляет собой следующий этап развития промышленности» [21], когда радикально меняются подходы «к управлению бизнесом, делая акцент на человеческом факторе»⁸, для успешного преодоления перечисленных вызовов и барьеров важно руководствоваться следующими принципами Индустрии 5.0 [4, 21, 22]:

1. *Принцип человекоцентричности* предполагает, что в основу производственного процесса ставятся потребности человека.
2. *Принцип цифровизации* требует всестороннего использования передовых цифровых технологий в рамках производства товаров и оказания услуг.
3. *Принцип интеграции* предполагает не только внедрение технологий для автоматизации производства, но и формирование надлежащих условий для эффективного взаимодействия между человеком и технологической средой, использование лучших качеств обеих сторон.
4. *Принцип синергии* предусматривает задействование современных технологий (облачные

⁸ Индустрия 5.0: Человекоцентричное будущее бизнеса и новые стратегии роста. <https://pakhotin.org/technologies/industry-5/>. Дата обращения 10.11.2024. [Industry 5.0: The Human-Centered Future of Business and New Growth Strategies. <https://pakhotin.org/technologies/industry-5/> (in Russ.). Accessed November 10, 2024.]

⁷ <https://национальныепроекты.рф/new-projects/ekonomika-dannykh/>. Дата обращения 10.11.2024. / Accessed November 10, 2024.

технологии, искусственный интеллект и т.д.) для автоматизации производственных процессов, сохраняя существенную человеческую роль в управлении.

5. *Принцип оптимизации* предполагает поиск моделей экономической деятельности, которые минимизируют использование ресурсов для достижения максимальной эффективности при взаимодействии между человеком и технологической средой.
6. *Принцип виртуализации* предполагает создание и внедрение цифровых двойников физических объектов и производственных и управленческих процессов для расширения аналитики и приложений искусственного интеллекта.
7. *Принцип платформизации* предполагает подключение к единому информационному пространству различных пользователей для взаимодействия, систем и оборудования по всей цепочке жизненного цикла производства.
8. *Принцип персонализации* предполагает создание систем, которые позволяют массово производить персонализированные продукты и услуги с использованием цифровых технологий.
9. *Принцип экосистемности* предполагает объединение элементов, разрозненных во времени, пространстве и типах отраслей для создания технологических и бизнес-коллабораций.
10. *Принцип экологичности* заключается в имплементации энергоэффективных технологий с целью снижения отрицательного влияния на окружающую среду.

Отметим, что каждая промышленная революция формирует свои уникальные принципы. Например, на этапе развития Индустрии 3.0 основной акцент делался на автоматизацию и внедрение электроники, что снижало актуальность интеграции человека и технологий – ключевого принципа для Индустрии 5.0. На этапе развития Индустрии 4.0, где преобладают процессы цифровизации и распространения Интернета вещей, такие принципы, как экологичность и взаимодействие человека с технологической средой, также играют второстепенную роль. На этапе развития Индустрии 5.0 акцент смещается на интеграцию цифровых технологий и человеческого фактора, что требует создания комплексных программных документов, в т.ч. со стороны правительства и государства, направленных на стимулирование бизнеса и промышленности к внедрению новых цифровых технологий. Особое внимание должно быть уделено не только крупным государственным корпорациям, но и частным малым и средним промышленным предприятиям.

Внедрение принципа человекоцентричности в производственные процессы предоставляет возможности для повышения производительности

и создания более устойчивых бизнес-моделей. Это предполагает не только модернизацию технологий, но и адаптацию их под реальные потребности общества. В России человекоцентричность может стать ключевым фактором успешного внедрения новых технологических решений, поскольку позволяет повысить удовлетворенность работников, стимулирует их к обучению и развитию, а также улучшает потребительский опыт.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ФУНКЦИИ

Сравнение различных промышленных революций можно осуществлять с помощью моделей экономического роста. Например, используя модель Солоу, возможно проследить, какие значительные изменения в производственные процессы вносит каждая последующая промышленная революция, а также проводить исследования процессов роста в условиях непрерывного технологического развития. При этом анализу подлежит так называемая производственная функция, которая определяет взаимосвязь между объемом производства Y , численностью работников L , объемом капитала K и технологическим прогрессом A :

$$Y = AK^{\alpha}L^{1-\alpha}. \quad (1)$$

В формуле (1) значение параметра α находится в интервале от 0 до 1, а сам параметр определяет, какую часть производства обеспечивает капитал.

Часто три основных фактора производства – труд, капитал и технологический прогресс – не дают полной картины производственного процесса. В таких случаях используют расширенные модели или добавляют дополнительные переменные для более глубокого анализа. Например, расширенная модель Солоу [25] может быть формализована следующим образом:

$$Y = AK^{\alpha}L^{\beta}H^{\gamma}N^{\delta}R^{\epsilon}. \quad (2)$$

В расширенной модели, в отличие от исходной, введены новые факторы: человеческий капитал H , природные ресурсы N и уровень технологий R . Параметры модели (α , β , γ , δ и ϵ) определяют влияние этих факторов на процесс производства (эластичность выпуска по отношению к каждому производственному фактору). Сумма значений этих параметров должна быть равна 1, что обеспечивает полноту учета всех факторов. Например, α показывает, на сколько процентов изменится выпуск Y , если капитал K изменится на 1%, при условии, что остальные факторы остаются неизменными.

Для каждой промышленной революции коэффициенты модели должны принимать различные значения. Рассмотрим соображения по значениям параметров расширенной модели Солоу в контексте Индустрий 3.0, 4.0 и 5.0.

Индустрия 3.0. Капитал K играет ключевую роль в Индустрии 3.0, поскольку физические ресурсы (машины, оборудование) остаются основой производства. В Индустрии 3.0 трудовые ресурсы L также остаются важными, но возможно имеют меньшее влияние по сравнению с машинами и оборудованием. Человеческий капитал, образование и навыки H имеют меньшее значение в сравнении с физическими ресурсами и технологиями. Влияние природных ресурсов N во многом зависит от специфики отрасли, но все еще существенно, особенно в производстве сырья. Уровень развития технологий R достаточно важен, но не настолько, как в Индустриях 4.0 и 5.0.

Индустрия 4.0. Капитал K остается важным, однако основной вектор развития направлен на инновационные технологии и цифровизацию производства. В условиях автоматизации и использования робототехники человеческий фактор L менее значим по сравнению с Индустрией 3.0, а обучение и навыки H становятся более важными, т.к. требуются высококвалифицированные специалисты для работы с новыми технологиями. С учетом устойчивого развития и экологической эффективности влияние на природные ресурсы N может быть меньше, а воздействие технологий R на производство, а особенно цифровых технологий – значительно.

Индустрия 5.0. Капитал K в виде интеллектуального и цифрового капитала становится главным фактором производства. Человеческий ресурс L все еще важен, но большее внимание может уделяться

креативности, инновациям и междисциплинарному сотрудничеству. В Индустрии 5.0 образование, креативность и гибкие навыки H – ключевые факторы. Приоритеты устойчивого развития и осознание экологических проблем определяют важность минимизации использования природных ресурсов N . Влияние передовых технологий R , таких как искусственный интеллект или нанотехнологии, является определяющим.

Отметим, что установка коэффициентов α , β , γ , δ , ϵ для каждой Индустрии зависит от конкретных условий и целей определенной промышленной отрасли. Для численного определения значений коэффициентов модели (2) был проведен экспертный опрос. Для обеспечения репрезентативности и достоверности исследования в опросе приняли участие 110 экспертов, представляющих различные секторы экономики, включая высшие учебные заведения (РТУ МИРЭА и Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева), академические исследовательские центры, промышленность и бизнес (Нижегородское региональное отделение Общероссийской общественной организации «Вольное экономическое общество России»), что в целом достаточно для подобных исследований [26]. Такой подход позволил охватить широкий спектр мнений и обеспечить разнообразие взглядов на значимость различных факторов производства. Экспертам было предложено оценить вклад пяти основных факторов в общий объем производства для трех промышленных революций. При этом каждый эксперт должен был распределить коэффициенты так, чтобы их сумма для каждой промышленной революции равнялась 1. Данные, полученные в результате опроса, были усреднены для получения общих коэффициентов (таблица).

Таблица. Распределение коэффициентов расширенной модели Солоу

Индустрия	α	β	γ	δ	ϵ	Пояснение
3.0	0.32	0.18	0.16	0.1	0.24	Капитал оказывает наибольшее влияние на объем производства, что указывает на капиталоемкость Индустрии 3.0. Вклад труда значителен, но меньше, чем вклад капитала. Человеческий капитал, важен, но уступает капиталу и труду. Вклад природных ресурсов небольшой. Высокий вклад уровня развития технологий подчеркивает важность технологического прогресса
4.0	0.26	0.16	0.19	0.09	0.3	Вклад капитала высок, но меньше, чем в Индустрии 3.0. Вклад труда уменьшен по сравнению с Индустрией 3.0. Человеческий капитал вносит более значительный вклад, чем в Индустрии 3.0. Вклад природных ресурсов остается таким же, как в Индустрии 3.0. Наивысший вклад среди всех факторов отведен уровню развития технологий, указывающему на высокую зависимость от технологических инноваций
5.0	0.21	0.11	0.24	0.14	0.3	Наименьший вклад капитала и труда среди всех индустрий. Наивысший вклад человеческого капитала подчеркивает важность знаний и навыков. Более значительный вклад природных ресурсов по сравнению с другими индустриями. Вклад технологий остается высоким

Приведем сравнительный анализ вклада каждого фактора в производство в контексте Индустрий 3.0, 4.0 и 5.0. Можно констатировать, что относительный вклад капитала уменьшается. Роль труда также снижается, что во многом свидетельствует о меньшей зависимости от количества рабочей силы. Напротив, вклад человеческого капитала увеличивается, подчеркивая его исключительную важность. Роль фактора, связанного с природными ресурсами, остается относительно стабильной, с небольшим увеличением в Индустрии 5.0, а значимость технологического развития остается стабильно высокой, что свидетельствует о важности инноваций для экономического роста.

Таким образом, каждая промышленная революция имеет свои особенности и различия относительно вклада каждого фактора, что следует учитывать при разработке экономической политики и инвестиционных стратегий. Хотя с теоретической точки зрения распределение коэффициентов α , β , γ , δ , ε видится весьма справедливым, для полного подтверждения справедливости и адекватности модели в практическом применении необходимо провести ее эмпирическую проверку.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования представлены концептуальные различия Индустрий 3.0, 4.0 и 5.0, включая уникальную ориентацию, технологии, цели, подходы к работе с данными и коммуникации. Особое внимание уделено обоснованию необходимости ускоренного внедрения в России технологий Индустрии 5.0. Отмечено, что на данный момент российская экономика недостаточно подготовлена к вызовам Индустрии 5.0. Основными препятствиями являются отсутствие четкой государственной стратегии цифровой трансформации промышленности, низкий уровень цифровизации большинства промышленных предприятий, ограниченное финансирование и поддержка малых и средних промышленных компаний в вопросах внедрения передовых технологий, а также недостаток квалифицированных кадров. Однако внедрение технологий Индустрии 4.0 и планирование перехода на технологии Индустрии 5.0 рассматриваются как необходимые шаги для формирования инновационной и конкурентоспособной экономики.

На основе проведенного исследования можно сделать следующие выводы: хотя переход к технологиям Индустрии 5.0 в российской экономике находится на зачаточной стадии, очевидна необходимость ускорения данного процесса. Рекомендациями для ускорения перехода могут быть: разработка четкой

стратегии внедрения принципов Индустрии 5.0 на уровне национальной экономики, усиление государственной поддержки для малых и средних промышленных предприятий, создание специализированных образовательных программ для подготовки кадров к работе с новыми технологиями.

Модель Солоу может служить основой для разработки экономических стратегий, направленных на ускорение внедрения принципов и технологий Индустрии 5.0. Модель Солоу позволяет анализировать влияние технологических изменений на долгосрочный экономический рост, учитывать важность инвестиций в исследования и разработки, а также влияние человеческого капитала и технологического прогресса на рост валового внутреннего продукта. Однако в статье эти выводы основываются на теоретических предположениях и экспертных оценках, которые требуют дальнейшего эмпирического подтверждения. Для полноценного обоснования предложенных стратегических шагов необходимо проведение дополнительных исследований и проверка модели на практических данных. Особенно следует подчеркнуть, что значимость финансового капитала и инвестиций в критическую инфраструктуру и развитие человеческого капитала заслуживает внимания, поскольку переход к новым технологиям требует значительных затрат и всестороннего анализа.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-78-10009).

ACKNOWLEDGMENTS

The study was supported by the Russian Science Foundation grant (project No. 23-78-10009).

Вклад авторов

Н.Н. Карпухина – идея исследования, анализ литературы, написание и редактирование текста статьи.

Е.С. Митяков – идея исследования, анализ литературы, обоснование математической модели, интерпретация и обобщение результатов исследования, написание и редактирование текста статьи.

А.Ю. Пронин – идея исследования, написание текста статьи.

Authors' contributions

N.N. Karpukhina – the idea of the study, literature analysis, writing and editing the text of the article.

E.S. Mityakov – the idea of the study, literature analysis, substantiation of the mathematical model, interpretation and generalization of the research results, writing and editing the text of the article.

A.Yu. Pronin – the idea of the study, writing the text of the article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ситникова С.Е. Цифровая форма коммерциализации инноваций в вузах и пути повышения ее эффективности: международный опыт и перспективы для России. *Инновационное развитие экономики*. 2020;6(60):61–70.
2. Старожук И.Н., Комиссаров В.Д. Цифровой двойник как механизм перехода от Индустрии 4.0 к Индустрии 5.0. В сб.: *Цифровая трансформация экономических систем: проблемы и перспективы (ЭКОПРОМ-2022): Сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции с зарубежным участием*. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС; 2022. С. 151–154.
3. Агеев А.И. Управление цифровым будущим. *Мир новой экономики*. 2018;12(3):6–23. <https://doi.org/10.26794/2220-6469-2018-12-3-6-23>
4. Розанова Н.М. Индустрия 5.0: золотой век или прыжок в темноту? *Вестник Института экономики Российской академии наук*. 2023;6:61–77.
5. Barata J., Kayser I. Industry 5.0 – Past, Present, and Near Future. *Procedia Comput. Sci.* 2023;219(1):778–788. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.351>
6. Nahavandi S. Industry 5.0 – A Human-Centric Solution. *Sustainability*. 2019;11(16):4371. <https://doi.org/10.3390/su11164371>
7. Orea-Giner A., Fuentes-Moraleda L., Villacé-Molinero T., et al. Does the Implementation of Robots in Hotels Influence the Overall TripAdvisor Rating? A Text Mining Analysis from the Industry 5.0 Approach. *Tour. Manag.* 2022;93(2):104586. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2022.104586>
8. Kaasinen E., Anttila A.H., Heikkilä P., et al. Smooth and Resilient Human–Machine Teamwork as an Industry 5.0 Design Challenge. *Sustainability*. 2022;14(5):2773. <https://doi.org/10.3390/su14052773>
9. Coronado E., Kiyokawa T., Ricardez G.A.G., et al. Evaluating quality in human-robot interaction: A systematic search and classification of performance and human-centered factors, measures and metrics towards an industry 5.0. *J. Manufactur. Syst.* 2022;63:392–410. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.04.007>
10. Carayannis E.G., Christodoulou K., Christodoulou P., et al. Known Unknowns in an Era of Technological and Viral Disruptions – Implications for Theory, Policy, and Practice. *J. Knowl. Econ.* 2022;13(1):587–610. <https://doi.org/10.1007/s13132-020-00719-0>
11. Fatima Z., Tanveer M.H., Waseemullah, et al. Production Plant and Warehouse Automation with IoT and Industry 5.0. *Appl. Sci.* 2022;12(4):2053. <https://doi.org/10.3390/app12042053>
12. Paul G., Abele N.D., Kluth K. A Review and Qualitative Meta-Analysis of Digital Human Modeling and Cyber-Physical-Systems in Ergonomics 4.0. *IIE Trans. Occup. Ergon. Hum. Factors*. 2021;9(3–4):111–123. <https://doi.org/10.1080/24725838.2021.1966130>
13. Broo D.G., Kaynak O., Sait S.M. Rethinking engineering education at the age of industry 5.0. *J. Industr. Inform. Integrat.* 2021;25(8):100311. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100311>
14. Alvarez-Aros E.L., Bernal-Torres C.A. Technological competitiveness and emerging technologies in industry 4.0 and industry 5.0. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 2021;93(1). <https://doi.org/10.1590/0001-3765202120191290>
15. Гасанов Э.А. Новая форма соединения человека и машины в модели производства Индустрии 5.0. *Экономика и управление инновациями*. 2022;3(22):39–49. <https://doi.org/10.26730/2587-5574-2022-3-39-49>
16. Трофимова Н.Н. Индустрия 5.0 как новое направление промышленного развития. *Экономика и управление: проблемы, решения*. 2023;5(133):24–28. <https://doi.org/10.36871/ek.up.r.r.2023.01.05.003>
17. Евгеньев Г.Б. Индустрия 5.0 как интеграция интернета знаний и интернета вещей. *Онтология проектирования*. 2019;9(1–31):7–23.
18. Азиева Р.Х., Таймасханов Х.Э. Модернизация нефтегазовой отрасли в стиле Индустрии 5.0. *Финансовый бизнес*. 2021;2(212):82–86.
19. Галимулина Ф.Ф., Шинкевич М.В. Диагностика мезоэкономических систем в России в условиях перехода к Индустрии 5.0. *Экономические и социально-гуманитарные исследования*. 2023;4(40):23–32.
20. Тинтин Ху. Обзор национальных стратегий перехода к Индустрии 5.0. *Экономика и управление инновациями*. 2022;3(22):28–38. <https://doi.org/10.26730/2587-5574-2022-3-28-38>
21. Маковецкий С.А. Продолжение эволюции: сравнение Индустрии 4.0 и Индустрии 5.0 в контексте современных требований. В сб.: *Бизнес. Образование. Экономика: Материалы Международной научно-практической конференции*. Минск; 2023. С. 81–85.
22. Пронин А.Ю. Тенденции цифровой трансформации высокотехнологичных предприятий в условиях перехода от Индустрии 4.0 к Индустрии 5.0. *Сифра. Экономика*. 2024;3(6). <https://doi.org/10.60797/ECNMS.2024.6.1>
23. Черепанов Н.В. Принципы и подходы применения Индустрии 5.0 на предприятии. *Инновации и инвестиции*. 2019;9:144–147.
24. Лапаев Д.Н., Митякова О.И., Мурашова Н.А., Митяков Е.С. *Организация НИОКР*. Н. Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева; 2017. 100 с.
25. Канаметова Д.А. Анализ моделей динамических экономических систем. *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН*. 2023;4(114):88–97. <https://doi.org/10.35330/1991-6639-2023-4-114-88-97>
26. Memon M., Ting H., Hwa C., Ramayah T., Chuah F., Cham T.H. Sample Size for Survey Research: Review and Recommendations. *Journal of Applied Structural Equation Modeling (JASEM)*. 2020;4(2):i–xx. [http://doi.org/10.47263/JASEM.4\(2\)01](http://doi.org/10.47263/JASEM.4(2)01)

REFERENCES

1. Sitnikova S.E. Digital form of commercialization of innovations in universities and ways to improve its efficiency: international experience and prospects for Russia. *Innovatsionnoe razvitie ekonomiki = Innovative Development of Economy*. 2020;6(60):61–70 (in Russ.).
2. Starozhuk I.N., Komissarov V.D. Digital twin as a mechanism for transition from Industry 4.0 to Industry 5.0. In: *Digital Transformation of Economic Systems: Problems and Prospects: Proceedings of the 6th All-Russian Scientific and Practical Conference with Foreign Participation*. St. Petersburg: POLITEKh-PRESS; 2022. P. 151–154 (in Russ.).
3. Ageev A.I. Managing the digital future. *Mir novoi ekonomiki = The World of New Economy*. 2018;12(3):6–23 (in Russ.). <https://doi.org/10.26794/2220-6469-2018-12-3-6-23>
4. Rozanova N.M. Industry 5.0: a golden age or a leap into the dark? *Vestnik Instituta ekonomiki Rossiiskoi akademii nauk = Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences*. 2023;6:61–77 (in Russ.).
5. Barata J., Kayser I. Industry 5.0 – Past, Present, and Near Future. *Procedia Comput. Sci.* 2023;219(1):778–788. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.351>
6. Nahavandi S. Industry 5.0 – A Human-Centric Solution. *Sustainability*. 2019;11(16):4371. <https://doi.org/10.3390/su11164371>
7. Orea-Giner A., Fuentes-Moraleda L., Villacé-Molinero T., et al. Does the Implementation of Robots in Hotels Influence the Overall TripAdvisor Rating? A Text Mining Analysis from the Industry 5.0 Approach. *Tour. Manag.* 2022;93(2):104586. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2022.104586>
8. Kaasinen E., Anttila A.H., Heikkilä P., et al. Smooth and Resilient Human–Machine Teamwork as an Industry 5.0 Design Challenge. *Sustainability*. 2022;14(5):2773. <https://doi.org/10.3390/su14052773>
9. Coronado E., Kiyokawa T., Ricardez G.A.G., et al. Evaluating quality in human-robot interaction: A systematic search and classification of performance and human-centered factors, measures and metrics towards an industry 5.0. *J. Manufactur. Syst.* 2022;63:392–410. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.04.007>
10. Carayannis E.G., Christodoulou K., Christodoulou P., et al. Known Unknowns in an Era of Technological and Viral Disruptions – Implications for Theory, Policy, and Practice. *J. Knowl. Econ.* 2022;13(1):587–610. <https://doi.org/10.1007/s13132-020-00719-0>
11. Fatima Z., Tanveer M.H., Waseemullah, et al. Production Plant and Warehouse Automation with IoT and Industry 5.0. *Appl. Sci.* 2022;12(4):2053. <https://doi.org/10.3390/app12042053>
12. Paul G., Abele N.D., Kluth K. A Review and Qualitative Meta-Analysis of Digital Human Modeling and Cyber-Physical-Systems in Ergonomics 4.0. *IIEE Trans. Occup. Ergon. Hum. Factors*. 2021;9(3–4):111–123. <https://doi.org/10.1080/24725838.2021.1966130>
13. Broo D.G., Kaynak O., Sait S.M. Rethinking engineering education at the age of industry 5.0. *J. Industr. Inform. Integrat.* 2021;25(8):100311. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100311>
14. Alvarez-Aros E.L., Bernal-Torres C.A. Technological competitiveness and emerging technologies in industry 4.0 and industry 5.0. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 2021;93(1). <https://doi.org/10.1590/0001-376520210191290>
15. Gasanov E.A. New form of human-machine connection in the Industry 5.0 production model. *Ekonomika i upravlenie innovatsiyami = Economy and Innovation Management*. 2022;3(22):39–49 (in Russ.). <https://doi.org/10.26730/2587-5574-2022-3-39-49>
16. Trofimova N.N. Industry 5.0 as a new direction of industrial development. *Ekonomika i Upravlenie: Problemy, Resheniya*. 2023;5(133):24–28 (in Russ.). <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2023.01.05.003>
17. Evgenev G.B. Industry 5.0 as an integration of the Internet of Knowledge and the Internet of Things. *Ontologiya proektirovaniya = Ontology of Designing*. 2019;9(1–31):7–23 (in Russ.).
18. Azieva R.Kh., Taimaskhanov H.E. Modernization of the oil and gas industry in the style of Industry 5.0. *Finansovyi biznes*. 2021;2(212):82–86 (in Russ.).
19. Galimulina F.F., Shinkevich M.V. Diagnostics of mesoeconomic systems in Russia under condition of transition to Industry 5.0. *Ekonomicheskie i sotsial'no-gumanitarnye issledovaniya = Economic and Social Research*. 2023;4(40):23–32 (in Russ.).
20. Tingting Hu. Review of national strategies for transition to Industry 5.0. *Ekonomika i upravlenie innovatsiyami = Economics and Innovation Management*. 2022;3(22):28–38 (in Russ.). <https://dx.doi.org/10.26730/2587-5574-2022-3-28-38>
21. Makovetskii S.A. Continued evolution: comparison of Industry 4.0 and Industry 5.0 in the context of modern requirements. In: *Business. Education. Economy: Proceedings of the International Scientific and Practical conference*. Minsk; 2023. P. 81–85 (in Russ.).
22. Pronin A.Yu. Tendencies in digital transformation of high-tech enterprises in the transition from Industry 4.0 to Industry 5.0. *Cifra. Ekonomika = Cifra. Economy*. 2024;3(6) (in Russ.). <https://doi.org/10.60797/ECNMS.2024.6.1>
23. Cherepanov N.V. Principles and approaches of using Industry 5.0 at the enterprise. *Innovatsii i investitsii = Innovation & Investment*. 2019;9:144–147 (in Russ.).
24. Lapaev D.N., Mityakova O.I., Murashova N.A., Mityakov E.S. *Organizatsiya NIOKR (Organization R&D)*. N. Novgorod: Nizhny Novgorod State Technical University; 2017. 100 p. (in Russ.).
25. Kanametova D.A. Analysis of Models of Dynamic Economic Systems. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN = News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2023;4(114):88–97 (in Russ.). <https://doi.org/10.35330/1991-6639-2023-4-114-88-97>

26. Memon M., Ting H., Hwa C., Ramayah T., Chuah F., Cham T.H. Sample Size for Survey Research: Review and Recommendations. *Journal of Applied Structural Equation Modeling (JASEM)*. 2020;4(2):i-xx. [http://doi.org/10.47263/JASEM.4\(2\)01](http://doi.org/10.47263/JASEM.4(2)01)

Об авторах

Карпухина Наталия Николаевна, д.э.н., доцент, заведующий кафедрой управления инновациями, Институт технологий управления, ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). E-mail: karpukhina@mirea.ru. Scopus Author ID 57190409353, SPIN-код РИНЦ 7442-9985, <https://orcid.org/0000-0003-3378-5230>

Митяков Евгений Сергеевич, д.э.н., профессор, заведующий кафедрой КБ-9 «Предметно-ориентированные информационные системы», Институт кибербезопасности и цифровых технологий, ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). E-mail: mityakov@mirea.ru. Scopus Author ID 55960540500, SPIN-код РИНЦ 5691-8947, <https://orcid.org/0000-0001-6579-0988>

Пронин Алексей Юрьевич, к.т.н., доцент, кафедра управления инновациями, Институт технологий управления, ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). E-mail: pronin@mirea.ru. Scopus Author ID 57190872536, SPIN-код РИНЦ 6833-7914, <https://orcid.org/0000-0001-8947-3047>

About the Authors

Natalia N. Karpukhina, Dr. Sci. (Econ.), Associate Professor, Head of the Department of Innovation Management, Institute of Management Technologies, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow, 119454 Russia). E-mail: karpukhina@mirea.ru. Scopus Author ID 57190409353, RSCI SPIN-code 7442-9985, <https://orcid.org/0000-0003-3378-5230>

Evgeny S. Mityakov, Dr. Sci. (Econ.), Professor, Head of the Department of Subject-Oriented Information Systems, Institute for Cybersecurity and Digital Technologies, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow, 119454 Russia). E-mail: mityakov@mirea.ru. Scopus Author ID 55960540500, RSCI SPIN-code 5691-8947, <https://orcid.org/0000-0001-6579-0988>

Aleksey Yu. Pronin, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Innovation Management, Institute of Management Technologies, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow, 119454 Russia). E-mail: pronin@mirea.ru. Scopus Author ID 57190872536, RSCI SPIN-code 6833-7914, <https://orcid.org/0000-0001-8947-3047>