

Цифровая экономика: теория и практика Digital economy: theory and practice

Научная статья

УДК 330.322.3:37; 338.462:659.235

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.14501>

КОНЦЕПЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА

А.В. Полянин  , Т.А. Головина  

Среднерусский институт управления – филиал РАНХиГС,
г. Орёл, Орловская обл., Российская Федерация

 golovina_t78@mail.ru

Аннотация. Современные промышленные предприятия заинтересованы в производстве и внедрении инноваций в различных формах, так как нововведения вне зависимости от типа позволяют им повысить свою конкурентоспособность на основе снижения издержек производства или обеспечения монопольного положения на рык. В свою очередь эффективность инновационной деятельности во многом определяется состоянием организационно-управленческих структур предприятия, которые должны быть ориентированы на принятие эффективных решений в условиях внедрения цифровых технологий. Цель исследования состоит в изучении сущности, принципов и возможностей применения технологии цифрового двойника для управления инновационной деятельностью промышленных предприятий России с учётом накопленного передового мирового опыта. Задачами исследования являются: оценка текущего состояния инновационной активности промышленных систем в международном аспекте; характеристика технологии цифрового двойника и обоснование его роли в повышении эффективности управления инновационной деятельностью производственных предприятий; формирование авторской концепции управления инновационными промышленными системами на основе технологии цифрового двойника. Для анализа материала по заявленной проблематике авторы использовали такие методические приемы и инструменты как: абстрактно-логический метод, методы контент – анализа, бихевиористического подхода, сравнительной оценки, обобщения, индукции. В рамках исследования раскрыто современное состояние инновационной активности мировых промышленных систем, определена роль цифровых технологий в повышении эффективности управления инновационной деятельностью хозяйствующих субъектов. Проведен SWOT – анализ процесса использования цифровых двойников в инновационной деятельности промышленных предприятий, позволивший выделить возможности и угрозы их внедрения в производственный процесс. На основе матрицы цифровой трансформации экономических систем выделены перспективные отрасли – драйверы для поступательного развития технологии цифрового двойника. Предложена концепция управления инновационной деятельностью промышленных систем на основе технологии цифрового двойника с учетом ее функциональных характеристик и особенностей управления инновациями. В статье обосновано, что технология цифрового двойника позволяет быстрее получать информацию о свойствах будущего инновационного изделия, сокращает объем натурных испытаний за счет проведения виртуальных, а также за счет использования накопленных и аналитически обработанных исторических данных о проектировании и эксплуатации аналогичных изделий. Являясь инструментом быстрого прототипирования, данная технология ускоряет инновации и сокращает расходы промышленной системы. Научная значимость заключается в расширении теоретических представлений о подходах к развитию инновационной деятельности посредством технологии цифрового двойника. Практическая значимость заключается в формировании методологических основ понимания цифрового двойника как фактора, способного повысить эффективность управления инновационной деятельностью промышленных предприятий. Перспективы дальнейшего развития работы связаны с созданием методов и средств стратегического управления инновациями, обеспечивающих возможность разработки и реализации цифровых технологий управления инновационной деятельностью в условиях неравномерного развития цифровой экономики в различных секторах промышленности России.

Ключевые слова: инновации, управление инновационной деятельностью, промышленные системы, цифровой двойник, индустрия 4.0, цифровая экономика

Для цитирования: Полянин А.В., Головина Т.А. Концепция управления инновационной деятельностью промышленных систем на основе технологии цифрового двойника // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2021. Т. 14, № 5. С. 7–23. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.14501>

Это статья открытого доступа, распространяемая по лицензии CC BY-NC 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Research article

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.14501>

THE CONCEPT OF INNOVATION MANAGEMENT OF INDUSTRIAL SYSTEMS BASED ON DIGITAL TWIN TECHNOLOGY

A.V. Polyanin , T.A. Golovina  

Central Russian Institute of Management, Branch of RANEPA,
Oryol, Oryol Region, Russian Federation

 golovina_t78@mail.ru

Abstract. Modern industrial enterprises are interested in the production and implementation of innovations in various forms, as innovations, regardless of type, allow them to increase their competitiveness by reducing production costs or ensuring a monopoly position in the market. In turn, the effectiveness of innovation activity is largely determined by the state of the organizational and management structures of the enterprise, which should be focused on effective decision-making in the implementation of digital technologies. The aim of the research is to study the essence, principles and opportunities of using digital twin technology to manage the innovation activities of industrial enterprises in Russia, taking into account the accumulated best international practices. The objectives of the study are: assessment of the current state of innovation activity of industrial systems in the international aspect; characterization of digital twin technology to substantiate its role in improving the efficiency of innovation management of manufacturing enterprises; formation of the authors' concept of innovation management of industrial systems based on digital twin technology. To analyze the material on the stated issues, the authors used such methodological techniques and tools as abstract-logical method, methods of content analysis, behavioral approach, comparative evaluation, generalization, and induction. The study reveals the current state of innovation activity of global industrial systems, defines the role of digital technologies in improving the efficiency of management of innovation activities of business entities. The SWOT-analysis of the process of using digital twins in the innovation activities of industrial enterprises allowed us to identify opportunities and threats to their implementation in the production process. Based on the matrix of digital transformation of economic systems, we identified promising industries driving the progressive development of digital twin technology. The paper proposes the concept of innovation management of industrial systems on the basis of digital twin technology taking into account its functional and innovation management characteristics. The article proves that digital twin technology allows getting information about the properties of a future innovative product faster, reducing the volume of field tests by means of conducting the virtual ones, as well as by using accumulated and analytically processed historical data about the design and operation of similar products. As a rapid prototyping tool, this technology accelerates innovation and reduces the cost of an industrial system. The scientific significance lies in the expansion of theoretical ideas about the approaches to the development of innovation through digital twin technology. The practical significance lies in the formation of methodological foundations for understanding digital twins as a factor that can improve the efficiency of innovation management in industrial enterprises. The prospects for further development of the work are associated with the creation of methods and tools for strategic management of innovation, providing the opportunity to develop and implement digital technologies for the management of innovation activities in the context of uneven development of the digital economy in various industrial sectors of Russia.

Keywords: innovation, innovation management, industrial systems, digital twin, industry 4.0, digital economy

Citation: A.V. Polyenin, T.A. Golovina, The concept of innovation management of industrial systems based on digital twin technology, St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics, 14 (5) (2021) 7–23. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.14501>

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Введение

Экономика России в современных условиях нуждается в ускоренном развитии инновационного сектора, характеризующегося высокой долей участия интеллектуального капитала, своеобразием этапов создания инновационных продуктов, начиная от возникновения научной идеи до ее реализации и воплощения в материальную форму – товар, востребованный рынком, производство и реализация которого должны возместить значительные по объему и продолжительные по времени инвестиционные затраты.

Инновационная трансформация экономических процессов в промышленности является ключевым приоритетом современного этапа социально-экономического развития России. Инновационная деятельность способствует продвижению научно-технического прогресса не только на уровне хозяйствующих субъектов, но и на территориальном уровне, создавая при этом предпосылки для устойчивого экономического роста и повышения качества жизни населения.

В силу научной и практической значимости инноваций, их природу, особенности развития и управления изучает большое количество ученых. Терминологический и видовой аппарат инновационной деятельности представлен в публикациях таких авторов, как Т.Ф. Берестова, А.Д. Гохшанд, Д.И. Демин, Е.В. Елохова, С.Д. Ильенкова, В.Г. Когденко, О.Г. Королев. Различные аспекты инновационной деятельности исследованы в трудах С.Н. Абдуллиной, К.Н. Абубакировой, Е.С. Замбрицкой, Ю.М. Калашниковой, М.А. Лиховидовой, К.С. Саенко, Д.В. Соколова, А.В. Рядчиковой, Й.А. Шумпетера. Вопросы систематизации инноваций по отдельным признакам освещены в работах Т.В. Голдяковой, А.А. Голубева, А.И. Пригожина.

Изучению проблем формирования и развития инновационной экономики посвящены труды известных отечественных и зарубежных авторов таких как: Л.И. Абалкин, А.Г. Аганбегян, А.Б. Белокрылов, О.В. Долженкова, Т.В. Минеева, А.Г. Полякова, И.В. Скопина, Й. Шумпетера, Ф. Эмери и др.

Исследование сущности инноваций, управления и регулирования инновационной деятельности представлены в работах А.И. Гретченко, Е.П. Митрофанова, С.В. Рыкова, А.Е. Суглобовой, Е.В. Смирновой, М.А. Эскиндарова, Ю.В. Яковца.

С течением времени концепция управления инновационной деятельностью экономических систем не теряет актуальности, что обусловлено природой инноваций, ее безграничностью, уникальностью и непредсказуемостью. Развитие инновационного процесса требует новаторского подхода, так как мышление новаторов безгранично, уникально и абсолютно непредсказуемо, и его сущностью являются поиск и внедрение инноваций [1].

Сложная экономическая ситуация, которая на текущий момент наблюдается в мире, приводит к валидации всех перспективных технологий, под которыми в первую очередь понимаются цифровые технологии, в связи с этим в промышленности происходят изменения парадигмы развития. Прогнозируемая ранее динамика разработки, развития и адаптации цифровых технологий в производственные процессы является труднодостижимой, при этом отдельно стоит отметить, что влияние сложной эпидемиологической и экономической ситуации на развитие конкретных

технологий не всегда негативно: для отдельных групп решений в условиях новой реальности достижимы более высокие темпы развития.

Технологические тренды, выделяемые в контуре каждой цифровой технологии, определяются внешними условиями их развития, а также векторами научно-технологического и экономического характера, в совокупности именно они определяют динамику и направление технологического развития отраслей и национальной экономики в целом.

Среди факторов, определяющих перспективы в системе управления инновационными промышленными системами, можно отметить: инновационный цикл товара; технологии нового уклада; промышленная четвертая революция и пр. Кроме того, среди основных тенденций в развитии фундаментальных наук наблюдается возрастание доли междисциплинарных исследований, появление новых технологий обработки информации, рост конкуренции на рынке квалифицированных трудовых ресурсов.

Важнейший катализатор нового этапа цифровой трансформации — растущие успехи в развитии передовых технологических направлений, включая искусственный интеллект, робототехнику, блокчейн, технологии виртуальной и дополненной реальности и другие. Эти технологии предоставляют промышленным системам уникальные возможности, в том числе высокую точность прогнозирования и принятия управленческих решений, основанных на данных, кратное снижение издержек, обеспечение лучшего качества «потребительского опыта». Индустрия 4.0 является актуальной темой исследований в области управления инновационной деятельностью промышленных систем.

Industry 4.0 — это новая концепция производственных систем, которая охватывает такие технологии, как Интернет вещей, большие данные, киберфизические системы и интеллектуальные объекты. Industry 4.0 представит новые вызовы и возможности для исследователей и менеджеров в области безопасности технологических процессов и охраны окружающей среды. По мнению A. Badri, B. Trudel, A. Ahmed [2], связь в реальном времени, большие данные, дистанционное зондирование, контроль и управление производственным процессом, автономное оборудование и интерконнективиты будут главными имуществами в современной индустрии.

По мере того, как четвертая промышленная революция станет преобладающей реальностью, она приведет к новым сдвигам в парадигме, которые окажут влияние на управление охраной труда.

F. Zzulka, P. Marcon, Z. Bradac [3] рассматривают основы построения коммуникационных систем для открытых, безопасных, защищенных, практически в реальном времени, стандартизированных коммуникационных интерфейсов и задачи создания единой архитектуры, отвечающей принципам Индустрии 4.0 применительно к предприятиям будущего.

J. Müller, O. Buliga, K. Voigt [4] изучают как Industry 4.0 инициирует изменения в бизнес-моделях обрабатывающих промышленных предприятий. Результаты их исследований показывают, что Industry 4.0 включает в себя три измерения, а именно высококачественную оцифровку процессов, интеллектуальное производство и взаимодействие между компаниями.

Georg Reischauer [5] считает, что Индустрия 4.0 представляет собой революцию, которая изменит отрасли и рассматривает новую промышленную парадигму как политический инновационный дискурс в обрабатывающих отраслях, целью которого является институционализация инновационных систем, охватывающих бизнес, образование и политику.

H. Meissner, R. Ilsen, J. Aurich [6] рассматривают вопросы децентрализованного контроля за производством, сравнивают различные свойства подходов и архитектур с целями Индустрии 4.0, на основе сравнения делаются выводы о том, насколько различные архитектуры подходят для Индустрии 4.0, и говорят о необходимости разработки средств управления инновационным производством Индустрии 4.0.



Объектом исследования выступают промышленные экономические системы. Предметом исследования является инновационная деятельность промышленных предприятий в условиях цифровизации экономики.

В настоящее время отсутствует концепция организации инновационной деятельности с использованием функционала «цифрового двойника» и его роли в управлении промышленными экономическими системами.

Цель исследования

Цель исследования состоит в изучении сущности, принципов и возможностей применения технологии цифрового двойника для повышения эффективности управления инновационной деятельностью промышленных предприятий России с учётом накопленного передового мирового опыта. Задачами исследования являются: оценка текущего состояния инновационной активности промышленных систем в международном аспекте; характеристика технологии цифрового двойника и обоснование его роли в повышении эффективности управления инновационной деятельностью производственных предприятий; формирование авторской концепции управления инновационными промышленными системами на основе технологии цифрового двойника.

Цифровые двойники как новая парадигма может изменить роль традиционных производственных процессов путём изменения способов производства инновационной продукции. Технология цифрового двойника позволяет осуществить переход к интеллектуальным производственным технологиям, формированию систем обработки больших данных, способствует решению ряда сложных технических задач в промышленности.

Методика

Основу исследования составляет количественная методология: факторный анализ, метод анализа иерархии, табличные и графические приемы визуализации данных. Для изучения вопросов управления инновационной деятельностью промышленных предприятий были использованы общенаучные подходы: дедуктивный, структурно-функциональный, абстрактно-логический, системный и комплексный.

Теоретический базис сформирован научными исследованиями российских и зарубежных ученых по направлениям развития инновационной деятельности хозяйствующих субъектов, концептуальных проработок в сфере повышения эффективности управления промышленными экономическими системами на основе цифровых технологий, а также по проблематике исследования роли технологии цифрового двойника в управлении инновационной деятельностью предприятия.

Результаты и обсуждение

Инновации являются главными драйверами развития экономики, на основе которых принципиально обновляются производственные процессы и методы управления производством, технологии, техника, продуктовая линейка, организация системы менеджмента в промышленности, логистические и маркетинговые приемы, появляются абсолютно новые трудовые функции, выполняемые высококвалифицированным персоналом, благодаря чему формируются устойчивые тренды роста интеллектуального капитала, а следовательно, и рыночной стоимости бизнеса. Инновациям как важному экономическому потенциалу в развитых странах отводят большую роль, благодаря благоприятным рыночным условиям многие инноваторы становятся успешными предпринимателями, рыночная стоимость бизнеса которых определяется уровнем капитализации интеллектуальной собственности [7].

Объем мирового рынка наукоемкой продукции приблизительно составляет два триллиона долларов. Из этой суммы 25 % приходится на продукцию Китая, 10 % – Германия, 8 % – США, менее

процента – на Россию. Китай ежегодно получает от экспорта наукоемкой продукции около 496 миллиардов долларов, Германия – 190 миллиардов долларов, США – 153 миллиарда долларов [8]. В структуре экспорта России минеральное сырье традиционно составляет более половины, а на долю машин и оборудования в 2019 году пришлось только около 6,55 % от общего объема нашего экспорта [9]. При этом в России расходы на НИОКР, по последним опубликованным данным, меньше чем в США почти в 13 раз, чем в Китае – в 11 раз, чем в Японии – в 4,2 раза. Россия стоит на 47-м месте по уровню затрат на одного ученого и на 34-м месте по доле 62 затрат на исследования и разработки в ВВП государства [8]. По версии аналитического доклада «Глобальный индекс инноваций» Россия в 2020 году занимала 47 место в рейтинге стран по развитию инноваций, при этом отставание от лидера рейтинга – Швейцарии составило 30,45 пунктов.

Причем данные приведены с учетом паритета покупательной способности. Эти цифры не были бы столь примечательными, если бы в России не работало 12% от всех ученых и разработчиков мира против 25 % в США. Получается, что Россия в несколько раз слабее использует свой высокий потенциал интеллектуальных ресурсов, у нас реализуется всего около 10 % инновационных проектов (в США – 62 %, в Японии – 95 %). Несмотря на то, что, согласно индексу инноваций Bloomberg, Россия в 2018 году вошла в список из 25 наиболее активных в инновационной деятельности стран, улучшение позиций связано, прежде всего, с показателем эффективности образования [8].

Прирост ВВП в наиболее развитых странах чаще всего обеспечен постоянным совершенствованием выпускаемой продукции и внедрением новых технологий, именно на постоянном внедрении инноваций основывается их мировая конкурентоспособность и высокий уровень экспорта высокотехнологичной продукции.

Шестой технологический уклад прослеживается в таких странах, как США, Япония и Китай. Эти страны отличаются сегодня нацеленностью вектора на развитие и применение сложных, высоких технологий [8].

Проанализируем ситуацию в России. Треть технологий у нас принадлежит к третьему укладу и более 50% технологий – к четвертому. Примерно 10% технологий высокоразвитых отраслей, к которым можно отнести военно-промышленный комплекс и авиакосмическую промышленность, можно отнести к пятому укладу, а о шестом технологическом укладе нам говорить еще рано. Данная ситуация четко определяет архитектуру задач, стоящих перед Россией на ближайшее десятилетие.

По мнению академика РАН Каблова Е.Н., для того чтобы осуществить такой мощный прорыв вперед к шестому технологическому укладу, необходимо последовать примеру ведущих мировых стран и выделить науку как самостоятельную отрасль экономики со всеми вытекающими отсюда последствиями. Разделяя данное мнение, считаем, что необходимо содействовать развитию науки как основы для инноваций и инновационного потенциала России.

Для того чтобы производить инновации, хозяйствующему субъекту как экономической единице необходимо обладать определенными возможностями и способностями для привлечения новых, высоких технологий, то есть нужна некая сила, способная генерировать энергию.

В феврале 2020 года академик РАН Абел Агангбьян на совместном заседании Отделения общественных наук РАН и Вольного экономического общества России, посвященном теме «Драйверы роста экономики: человеческий капитал, наука, технологии», отметил два первичных драйвера – это инвестиции в основной капитал и вложения в человеческий капитал или в экономику знаний.

Инновационная экономика способна продуцировать инновации посредством экономики знаний. То есть в современных условиях тренд основного производственного ресурса закрепляется за результатом интеллектуальной деятельности – интеллектуальным ресурсом [10]. Драйверы роста экономики: человеческий капитал, наука, технологии.



Таким образом, страна обладает потенциалом, способным провести ее в топ-страны по выпуску инновационной продукции. И рост индекса экономики знаний на 22 пункта в 2019 году по сравнению с 2012 годом здесь не случаен и является подтверждающим фактором [8].

Инновации лежат в основе цифровой экономики, которая базируется на больших объемах баз данных и новых знаний. Цифровая экономика за счет своей динамичности сокращает жизненный цикл инноваций, тем самым обеспечивает рост наукоемкого производства и наращивание объемов интеллектуальных рынков.

В 2020 году приоритетным направлением развития России считается технологическое развитие. Условием достижения национальной цели считается увеличение количества организаций, производящих технологические инновации, до 50 % от их общего числа, что является частной целью реализации активной научно-технической и инновационной политики в Российской Федерации [11]. В целях ее реализации активно ведется разработка стратегических документов до 2030 года в сфере инновационного и технологического развития, включая развитие искусственного интеллекта как базы для формирования новой модели управления и регулирования интеллектуальной собственности и популяризации инноваций. В этой связи корреляции подлежат национальные проекты: «Наука», «Образование», «Цифровая экономика», «Производительность труда», «Малое и среднее предпринимательство», «Международная кооперация и экспорт». Корреляция проводится по направлениям: введение сквозных цифровых технологий; коммерциализация технологий в научном секторе (НОЦ) и подготовка кадров; создание системы акселерации МСП, в том числе в научно-технической сфере; техническое регулирование и формирование новых рынков.

Разработка мероприятий по формированию спроса на инновационный продукт или технологии возможна при четком понимании структурных изменений, происходящих на мировых рынках, и сложившегося многоуровневого характера конкуренции.

Новая индустриальная революция 4.0 как глобальный тренд формирует сегодня промышленную политику, а, следовательно, и структурно-технологическую трансформацию стран – мировых лидеров [12].

Таким образом, технологический фактор сегодня является определяющим в обеспечении конкурентоспособности промышленности, так как он способен создавать новые, прорывные технологии, которые не только формируют новые рынки, но и, проникнув в традиционные отрасли, модернизируют их.

Доля высокотехнологичной продукции в структуре экспорта России за 2018 год составляет 10,96 %. Доля лидера по данной позиции – 61,11 % (Филлипины), 38,89 % (Китай), 18,9 % (США). По данным доклада «OECD Directorate for Science», в 2017 году по расходам на НИОКР Россия заняла тридцать второе место в мировом рейтинге (доля в ВВП составила 1,2 %). По данному показателю Россия уступает странам-лидерам: Израилю (4,54%) и Южной Корее (4,55%) [9].

Совокупный уровень инновационно активных организаций в России по итогам 2017 года составляет 9,3 %. В сравнении с лидерами по показателю: Канада (79,3 %), Швейцария, Бразилия (72,6 %), Норвегия (71 %), Китай (37,1 %) [8].

Совершенно очевидно, что отсталая технологическая база не позволит выполнить задачи майского указа Президента РФ – повысить производительность труда и войти в пятерку мировых стран-лидеров.

Проблемы технологической отсталости России необходимо решать, применяя новые подходы к разработке промышленной политики, направленной на структурно-технологическую трансформацию, а также производство инновационной продукции с высокой добавленной стоимостью.

Информационную среду также следует выделить в числе предпосылок формирования инновационного потенциала хозяйствующих субъектов. Сейчас в России наблюдается развитие рынка

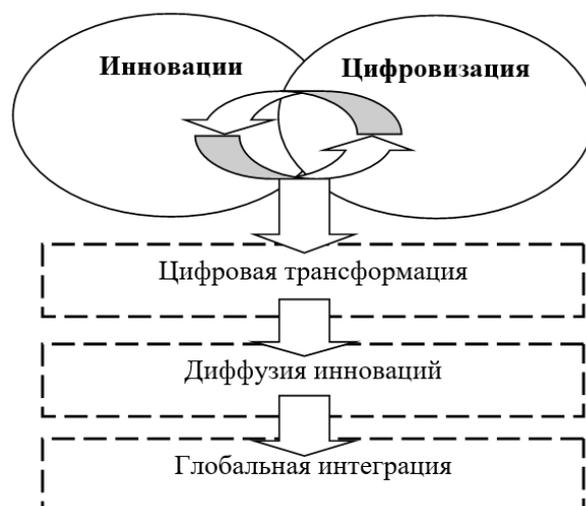


Рис. 1. Модель развития промышленных систем с учетом связей инноваций и цифровизации
 Fig.1. A model of industrial systems development, taking into account the links of innovation and digitalization

цифровых и IT-технологий что позволяет позиционировать информационный контент в качестве инновационного ресурса [13].

Таким образом, инновационное и цифровое развитие промышленных экономических систем рассматриваются в органическом единстве, что создает благоприятные предпосылки для информационной поддержки инновационной деятельности хозяйствующих субъектов (рис. 1). Информационная среда выступает оболочкой поддержки инновационной деятельности.

Инновационный процесс зависит от множества факторов, которые теснейшим образом взаимосвязаны и оказывают прямое или косвенное воздействие на его результаты, да и сам по себе процесс многогранен и охватывает практически все аспекты менеджмента [14]. Как следствие, это обуславливает полную интеграцию инновационного и управленческого процессов у хозяйствующих субъектов.

Анализируя цифровую экономику как явление и процесс, следует учитывать вариативность его определений и тесную взаимосвязь с экономикой инновационного типа.

Результатом деятельности предприятий в условиях цифрового преобразования экономики являются продукты и услуги. При этом отличительной чертой цифровой экономики становится то, что данные результаты нередко оказываются виртуальными, услуги приобретаются удалённо, что позволяет предприятиям получать экономические, финансовые выгоды с затратами, существенно более низкими, чем при производстве товаров и услуг в традиционных сферах общественного производства.

Виртуальность и удалённость являются основными преимуществами функционирования хозяйствующих субъектов в условиях цифровой экономики, благодаря им создаются условия для существенного повышения эффективности инновационного производства буквально во всех отраслях промышленности [15].

Выделенные этапы поступательной смены технико-технологических парадигм экономического развития промышленных систем приведены на рис. 2.

«Индустрия 4.0» говорит о следующей фазе цифровизации, где на ведущие позиции выходят такие технологии, как аналитика больших данных (Big Data), предиктивная аналитика, искусственный интеллект, новое поколение роботов и т. д.

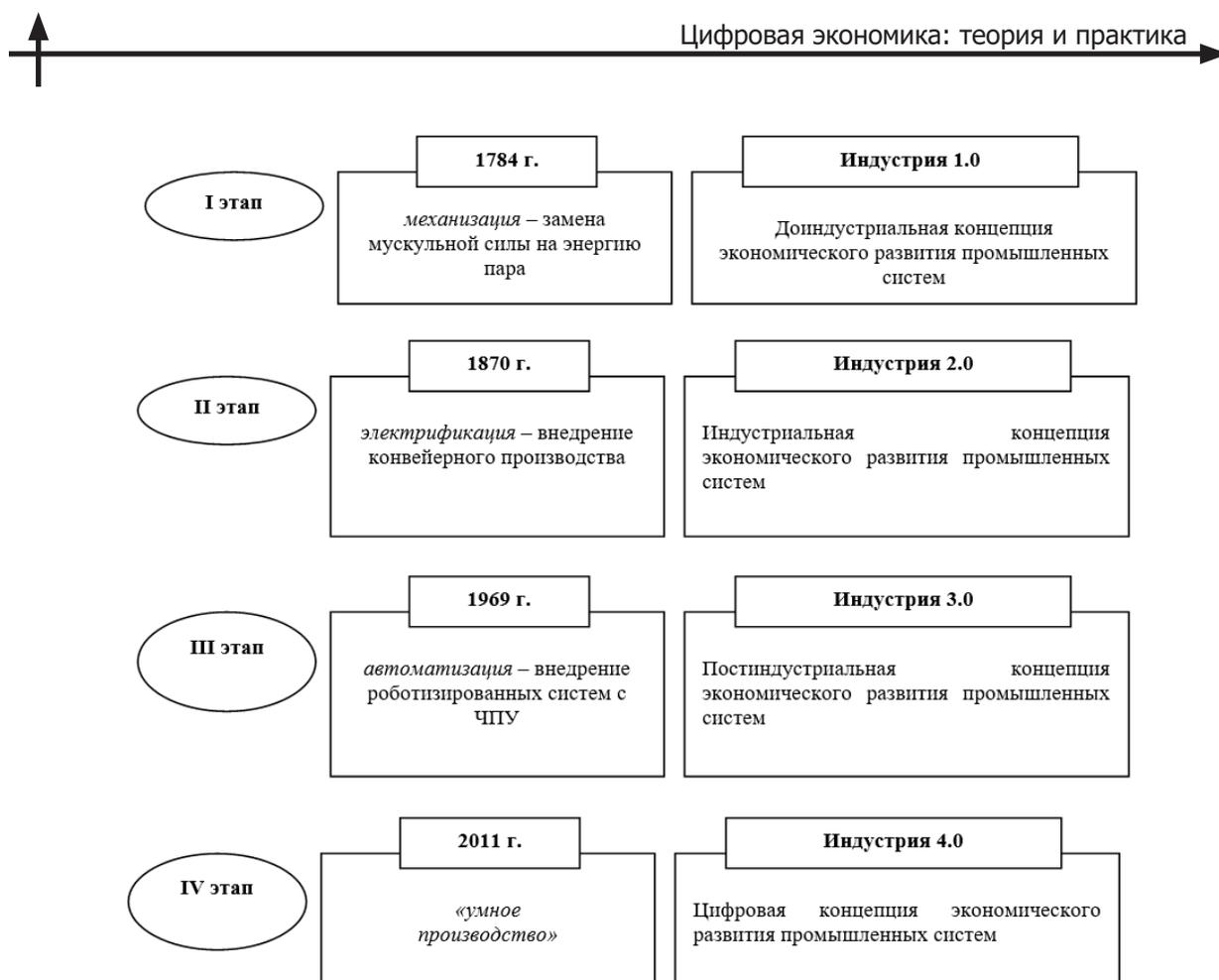


Рис. 2. Этапы поступательной смены технико-технологических парадигм экономического развития промышленных систем
 Fig. 2. Stages of progressive change of technical and technological paradigms of economic development of industrial systems

Трансформации в промышленности происходят согласно концепции «Индустрия 4.0.» характеризуются появлением кибер-производств, кибер- систем и кибер-машин. Цифровизация и возможность аутсорсинга разработки новых продуктов и бизнес-услуг, производства и быстрого прототипирования позволили небольшим компаниям и проектным командам создавать инновационные продукты и быстро выводить их на рынок наравне с присутствующими там крупными компаниями.

Одной из ключевых технологий, обеспечивающих повышение эффективности инновационной деятельности промышленных систем, является цифровой двойник. Фактически, в настоящее время он признан ключевой частью Industry 4.0. Данная категория продолжает методологии CALS и PLM, которые появились в начале XXI века. Ежегодный прирост этого рынка с 2020 по 2026 г. составит порядка 58% [16]. Применение технологии цифровых двойников инновационных производственных процессов позволяет уменьшить число сбоев, можно с 95%-ной точностью прогнозировать реакцию оборудования на эксплуатационные нагрузки, на 5–10% снизить эксплуатационные расходы сложных индустриальных комплексов.

Цифровой двойник представляет особый интерес как технология, которая находится на стыке цифровой и физической реальности и при этом развивается на фоне конвергенции целого ряда новых перспективных технологий, таких как аддитивные технологии, искусственный интеллект, интернет вещей и т. д.

Многие крупные промышленные предприятия сталкиваются с проблемой снижения конкурентоспособности, – несмотря на обилие внедряемых информационных систем, планирование

Процесс внедрения технологий «цифровой двойник»	ДОГОНЯЮЩИЕ ♦ авиационная промышленность ♦ космическая промышленность ♦ здравоохранение	ЛИДЕРЫ ♦ энергетика ♦ телекоммуникации и связь ♦ IT и разработка ПО ♦ добывающая промышленность ♦ металлургия ♦ машиностроение ♦ оборонная промышленность ♦ банковский сектор
	НАЧИНАЮЩИЕ ♦ пищевая промышленность ♦ судостроение ♦ строительство ♦ транспорт ♦ сельское хозяйство	ОТСТАЮЩИЕ ♦ обрабатывающая промышленность ♦ коммунальные услуги

Цифровая трансформация экономических систем

Рис. 3. Матрица цифровой трансформации экономических систем в контексте внедрения цифрового двойника

Fig. 3. The matrix of digital transformation of economic systems in the context of the implementation of the digital twin

производственных проектов остается на низком уровне. Цифровой двойник является центральным направлением решения вышеописанных проблем. Его внедрение позволяет сократить сроки разработки опытных образцов, ускоряет процесс их приведения в соответствие с техническим заданием, снижает стоимость эксплуатации и повышает скорость вывода инновационного изделия на рынок. Данная цифровая технология позволяет быстро создавать и тестировать различные модификации изделия и радикально уменьшает число натуральных испытаний, что ведет к существенному снижению затрат инновационной деятельности.

В нецифровом производстве при использовании примерных расчетов конструктор вынужден давать повышенный запас прочности, точно не зная, какие максимальные эксплуатационные нагрузки возникают в изделии при сложных схемах нагружения. Такой подход приводит к тому, что материалоемкость изделий получается завышенной, стоимость такой конструкции растет, а конкурентоспособность всего изделия падает.

Подход, связанный с использованием цифрового двойника, позволяет задавать оптимальный запас прочности, проверенный на очень большом числе виртуальных испытаний и достаточный для обеспечения механической прочности, но не приводящий к избыточной прочности, избыточной массе и повышенным издержкам при изготовлении [17].

Цифровой двойник позволяет быстрее получать информацию о свойствах будущего инновационного изделия и конструкции, сокращает объем натуральных испытаний за счет проведения виртуальных, а также за счет использования накопленных и аналитически обработанных исторических данных о проектировании и эксплуатации аналогичных изделий.

Являясь инструментом быстрого прототипирования, цифровой двойник ускоряет инновации и сокращает расходы. Промышленные предприятия могут тестировать, исправлять и улучшать детали изделия еще до его реального производства.

Для исследования текущей ситуации и перспектив цифровой трансформации различных отраслей экономики на основе внедрения цифровых двойников авторами была построена матрица БКГ (рис. 3).

В исследовании проведен SWOT – анализ процесса использования цифровых двойников в управлении инновационными промышленными экономическими системами, результаты которого представлены в табл. 1.

Базой для применения технологии цифрового двойника является семейство программных продуктов для проектирования и компьютерного инжиниринга на основе математического и



Рис. 4. Концепция управления инновационными промышленными системами на основе технологии цифрового двойника
 Fig. 4. Concept of management of innovative industrial systems based on digital twin technology

имитационного моделирования (CAD, CAM, CAE и др.), управления жизненным циклом продукта (PLM) [18].

Цифровые двойники создают виртуальные копии реальных производств, контролируют физические процессы и принимают децентрализованные решения. Такие системы могут самообучаться, самонастраиваться, объединяться в одну сеть.

Предлагаемая концепция управления инновационными промышленными системами на основе технологии цифрового двойника приведена на рис. 4.

Для инновационных промышленных экономических систем важным вопросом является использование технологии цифрового двойника таким образом, чтобы это позволило обеспечить

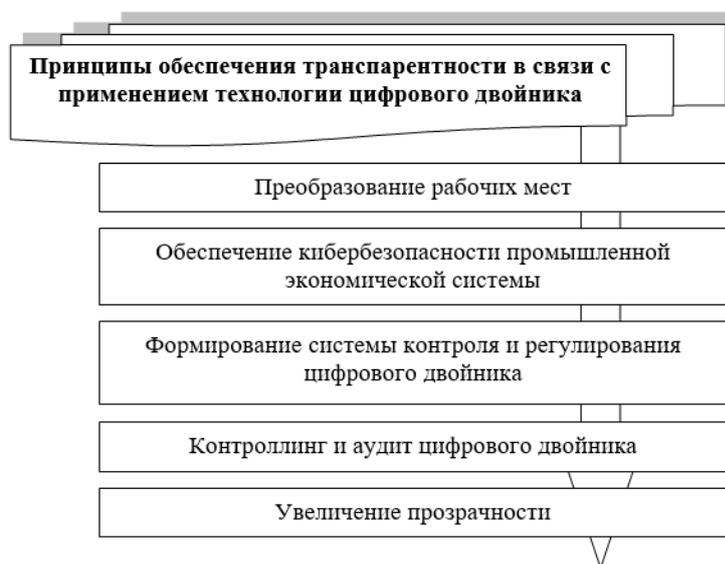


Рис. 5. Принципы обеспечения прозрачности в связи с применением технологии цифрового двойника
 Fig. 5. Principles of transparency in connection with the application of digital twin technology

открытость перед стейкхолдерами и сохранить благосостояние персонала [19]. Целесообразно руководствоваться базовыми принципами, которые позволили бы производственным компаниям, разворачивающим данную технологию, обеспечить прозрачность (рис. 5).

Таблица 1. Результаты SWOT – анализа процесса использования цифровых двойников в управлении инновационными промышленными экономическими системами
Table 1. Results of SWOT – analysis of the process of using digital twins in the management of innovative industrial economic systems

Сильные стороны	Слабые стороны
Снижение цены жизненного цикла продукции. Ускорение бизнес – процессов. Увеличение объемов производства. Повышение прозрачности операций и транзакций. Повышение качества инновационной продукции. Надежность работы оборудования.	Финансовые затраты на создание, внедрение и использование ЦД. Необходимость структурной перестройки производственных процессов. Неразвитость законодательства в области цифровой трансформации производственных процессов. Отсутствие соответствующих навыков и опыта.
Возможности	Угрозы
Новые решения и инновационные бизнес – модели в уже сформированных отраслях. Формирование новых рынков. Стимулирование развития нового производственного бизнеса. Снижение затрат по отдельным процессам благодаря внедрению ЦД. Повышение производительности труда. Повышение качества производимой инновационной продукции. Гибкость промышленной экосистемы за счет повышения управляемости.	Появление новых конкурентов, монополизация производства. Негативные последствия из-за отсутствия инструментов контроля над действиями владельцев ЦД. Потенциальное сокращение рабочих мест. Увеличение вероятности технологических сбоев и техногенных катастроф.



Создание цифровых двойников обеспечивает оперативное производство и поставку продукции с конкурентными свойствами в условиях глобальной высокотехнологичной конкуренции. Цифровой двойник в отдельных отраслях промышленности позволяет моделировать различного рода изменения и эффекты [20].

Используя в той или иной степени определенные базовые технологии цифровизации производства, предприятия строят свои цифровые двойники в виде глобальных платформ для моделирования, имитации и анализа своих инновационных производственных систем.

Заключение

В настоящее время промышленность Российской Федерации вынуждена реагировать на тектонические изменения, в основе которых лежит цифровизация – процесс перехода к новым моделям управления, внедрения особых бизнес-моделей и средств управления, связанных с применением информационных технологий. Решение проблем цифровизации отечественной промышленности является одним из факторов ее приспособления и адаптации к изменившейся институциональной среде. Данные обстоятельства актуализируют необходимость разработки теоретико-методического концептуального подхода к управлению развитием промышленных экономических систем с учетом особенностей цифровой экономики и требований инновационно-цифровых преобразований.

Таким образом, следует отметить неизбежность инновационного развития российской экономики, включая модернизированные задачи производственно-технической базы реального сектора экономики и эффективное использование передовых достижений науки и техники. Это позволит российским хозяйствующим субъектам в короткие сроки сократить технологический разрыв с зарубежными конкурентами и обеспечить скачок производительности и конкурентоспособности бизнеса. Завоевать новые позиции на рынке и нарастить свое преимущество сегодня возможно только благодаря технологической активности в виде собственных исследований и разработок.

Важнейшим элементом цифровой трансформации промышленности на этапе разработки продукта является внедрение технологий компьютерного и суперкомпьютерного моделирования и «умных» цифровых моделей (цифровых двойников), создаваемых с учетом целевых характеристик продуктов, с одной стороны, и ресурсных ограничений – с другой, с последующим проведением виртуальных испытаний, оптимизацией и даже виртуальной сертификацией.

Для повышения эффективности инновационной деятельности промышленных систем на основе развития цифровых технологий необходимо стимулирование полноценного развертывания «локальной» цифровизации с внедрением и практической оптимизацией цифровых технологий во всех базовых производственных процессах каждого конкретного предприятия; обеспечение гибкого мониторинга проблем и успехов цифровизации и активного диалога с производством; а также разработка стратегии внедрения цифровых технологий, наем и обучение профильных кадров, сотрудничество с цифровыми компаниями и исследовательскими центрами.

Основными результатами научных исследований являются:

1. Модель развития промышленных систем с учетом связей инноваций и цифровизации, в которой инновационное и цифровое развитие промышленных экономических систем рассматриваются в органическом единстве, что создает благоприятные предпосылки для информационной поддержки инновационной деятельности хозяйствующих субъектов.

2. Выделенные этапы поступательной смены технико-технологических парадигм экономического развития промышленных систем, при этом текущий этап развития промышленности создает все необходимые условия для активизации и повышения эффективности инновационной деятельности производственных предприятий.

3. Построена матрица цифровой трансформации экономических систем в контексте внедрения цифрового двойника, позволяющая определить перспективы внедрения технологии цифрового двойника в деятельность различных отраслей экономики.

4. Проведён SWOT – анализ процесса использования цифровых двойников в управлении инновационными промышленными экономическими системами, результаты которого свидетельствуют о целесообразности применения данной технологии в деятельности хозяйствующих субъектов в условиях цифровой трансформации.

5. Предложена концепция управления инновационными промышленными системами на основе технологии цифрового двойника, основанная на синергии базовых принципов управления инновациями и преимуществами технологического функционала цифровой технологии.

Направления дальнейших исследований

В настоящее время инновационная сфера промышленности РФ характеризуется относительно низкими показателями результативности инновационной деятельности. В этой связи необходимо продолжать работу по созданию условий максимального благоприятствования деятельности промышленным предприятиям, занимающихся внедрением инноваций. Более того, для развития цифровой и инновационной экономики необходима активная поддержка субъектов, осуществляющих инновационную деятельность и оказывающих непосредственное влияние на инновационное развитие экономических систем.

Важнейшим вопросом развития инновационной деятельности является эффективное использование созданных инновационных продуктов, когда они становятся частью активов предприятия. Для этого необходимо создание рациональной системы управления инновационными активами, которые представляют собой главный источник стратегического развития самого промышленного предприятия как на микроуровне, так и макроэкономике в целом.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Илякова И.Е., Савина Т.Н.** Обеспечение научно-технического потенциала инновационного развития крупнейших отечественных корпораций: оценка, проблемы, тенденции // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2016. – Т. 12. – № 7 (340). – С. 131–143.

2. **Badri Adel, Trudel Bryan, Souissi Ahmed.** (2018). Occupational health and safety in the industry 4.0 era: A cause for major concern? // Safety Science. Volume 109, pp. 403–411. DOI: org/10.1016/j.ssci.2018.06.012

3. **Zezulka F., Marcon P., Bradac Z., Arm J., Benesl T., Vesely I.** (2018) Communication Systems for Industry 4.0 and the IIoT // IFAC-PapersOnLine. Volume 51, Issue 6, pp. 150–155. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.07.145

4. **Müller Julian, Buliga Oana, Voigt Kai-Ingo.** (2018) Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0 // Technological Forecasting and Social Change. DOI: https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.12.019

5. **Reischauer Georg.** (2018) Industry 4.0 as policy-driven discourse to institutionalize innovation systems in manufacturing // Technological Forecasting and Social Change. DOI: https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.02.012

6. **Meissner Hermann, Ilsen Rebecca, Aurich Jan.** (2017) Analysis of Control Architectures in the Context of Industry 4.0 // Procedia CIRP. Volume 62, pp. 165–169. DOI: https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.06.113

7. **Куплянина М.А., Трапезникова Е.С., Астафьева О.Е., Синева Н.Л., Яшкова Е.В.** Разработка стратегии инновационной деятельности предприятия // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. – 2019. – № 2 (36). – С. 275–283.



8. Затраты на науку в России и ведущих странах мира. – Текст: электронный // Институт статистических исследований и экономики знаний – 07.09.17. – URL: https://issek.hse.ru/data/2017/09/07/1172519569/NTI_N_64_0709_2017.pdf (дата обращения: 16.08.21).
9. Экспорт высокотехнологичных товаров // Мировой атлас данных. – URL: <https://knoema.ru/atlas/ranks/Экспорт-высокотехнологичных-товаров> (дата обращения: 16.08.21).
10. **Терновская Е.П.** Особенности и проблемы финансового обеспечения инновационного промышленного развития в России // Вопросы инновационной экономики. – 2019. – Т. 9, № 2. – С. 337–348. DOI: 10.18334/vines.9.2.40584
11. **Амелин С.В., Худошина С.В.** Система повышения эффективности инновационной деятельности на предприятии ракетно-космической отрасли // Экономинфо. – 2018. – Т. 15. – № 1. – С. 61–65.
12. **Berawi M.A.** (2018). The Fourth Industrial Revolution: Managing Technology Development for Competitiveness. *International Journal of Technology*, Volume 9(1), pp. 1–4 DOI:10.14716/ijtech.v9i1.1504
13. **Тихонов В.С.** Особенности цифрового управления инновационными проектами // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2019. Т. 12, № 1. С. 33–42. DOI: 10.18721/JE.12103
14. **Matarneh S.T., Danso-Amoako M., Al-Bizri S., Gaterell M., Matarneh R.** Building information modeling for facilities management: A literature review and future research directions // *Journal of Building Engineering*. 2019. № 24. DOI: 10.1016/j.jobe.2019.100755.
15. **Berawi M.A.** (2013) Modeling and Simulation in Engineering Design and Technology: Improving Project/Product Performance. *International Journal of Technology*, Vol. 4 (2), pp. 100–110. DOI: [org/10.14716/ijtech.v4i2.127](https://doi.org/10.14716/ijtech.v4i2.127)
16. **Pospelova T.A., Strekalov A.V., Knyazev S.M., Kharitonov A.N.** (2020). Implementation of Digital Twins for Gas Field Management. *Oil Province*, Volume 1(21), pp. 230–242.
17. **Баденко В.Л., Большаков Н.С., Федотов А.А., Ядыкин В.К.** Цифровые двойники сложных технических систем в индустрии 4.0: базовые подходы // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2020. Т. 13, № 1. С. 20–30. DOI: 10.18721/JE.13102
18. **Lu Q., Xie X., Heaton J., Parlikad A.K., Schooling J.** From BIM towards digital twin: Strategy and future development for smart asset management // *Studies in Computational Intelligence*. 2020. № 853. P. 392–404. DOI: 10.1007/978-3-030-27477-1_30
19. **Govindaraju R., Dwipayana I.N.G.K., Salamah S.Y.** (2018). IT Governance and ERP Post-Implementation: Analysing the Impact of IT Business Alignment and IT Benefits Management on ERP Operation and Enhancement. *International Journal of Technology*, Vol. 9 (3), pp. 578–588. DOI: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v9i3.1205>
20. **Love P.E.D., Matthews J.** The ‘how’ of benefits management for digital technology: From engineering to asset management // *Automation in Construction*. 2019. № 107. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.102930

REFERENCES

1. **I.Ye. Piyakova, T.N. Savina,** Obespecheniye nauchno-tekhnicheskogo potentsiala innovatsionnogo razvitiya krupneyshikh otechestvennykh korporatsiy: otsenka, problemy, tendentsii // *Natsionalnyye interesy: priority i bezopasnost.* – 2016. – Т. 12. – № 7 (340). – С. 131–143.
2. **Badri Adel, Trudel Bryan, Souissi Ahmed,** (2018) Occupational health and safety in the industry 4.0 era: A cause for major concern? // *Safety Science*. Volume 109, pp. 403–411. DOI: [org/10.1016/j.ssci.2018.06.012](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.06.012)
3. **F. Zzulka, P. Marcon, Z. Bradac, J. Arm, T. Benesl, I. Vesely,** (2018) Communication Systems for Industry 4.0 and the IIoT // *IFAC-PapersOnLine*. Vol. 51, Iss. 6, pp. 150–155. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.07.145>
4. **Müller Julian, Buliga Oana, Voigt Kai-Ingo,** (2018) Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0 // *Technological Forecasting and Social Change*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.12.019>

5. **Reischauer Georg**, (2018) Industry 4.0 as policy-driven discourse to institutionalize innovation systems in manufacturing // Technological Forecasting and Social Change. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.02.012>
6. **Meissner Hermann, Ilsen Rebecca, Aurich Jan**, (2017) Analysis of Control Architectures in the Context of Industry 4.0 // Procedia CIRP. Volume 62, pp. 165–169. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.06.113>
7. **M.A. Kuplyanina, Ye.S. Trapeznikova, O.Ye. Astafyeva, N.L. Sineva, Ye.V. Yashkova**, Razrabotka strategii innovatsionnoy deyatel'nosti predpriyatiya // Innovatsionnaya ekonomika: perspektivy razvitiya i sovershenstvovaniya. – 2019. – № 2 (36). – S. 275–283.
8. Zatraty na nauku v Rossii i vedushchikh stranakh mira. – Tekst: elektronnyy // Institut statisticheskikh issledovaniy i ekonomiki znaniy – 07.09.17. – URL: https://issek.hse.ru/data/2017/09/07/1172519569/NTI_N_64_0709_2017.pdf (data obrashcheniya 16.08.21).
9. Eksport vysokotekhnologichnykh tovarov // Mirovoy atlas dannykh. – URL: <https://knoema.ru/atlas/ranks/Eksport-vysokotekhnologichnykh-tovarov> (data obrashcheniya 16.08.21).
10. **Ye.P. Ternovskaya**, Osobennosti i problemy finansovogo obespecheniya innovatsionnogo promyshlennogo razvitiya v Rossii // Voprosy innovatsionnoy ekonomiki. – 2019. – T. 9, № 2. – S. 337–348. DOI: 10.18334/vinec.9.2.40584
11. **S.V. Amelin, S.V. Khudoshina**, Sistema povysheniya effektivnosti innovatsionnoy deyatel'nosti na predpriyatii raketno-kosmicheskoy otrasli // Ekonominfo. – 2018. – T. 15. – № 1. – S. 61–65.
12. **M.A. Berawi**, (2018) The Fourth Industrial Revolution: Managing Technology Development for Competitiveness. International Journal of Technology, Vol. 9 (1), pp. 1–4 DOI:10.14716/ijtech.v9i1.1504
13. **V.S. Tikhonov**, Osobennosti tsifrovogo upravleniya innovatsionnymi proyektami // Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU. Ekonomicheskkiye nauki. 2019. T. 12, № 1. S. 33–42. DOI: 10.18721/JE.12103
14. **S.T. Matarneh, M. Danso-Amoako, S. Al-Bizri, M. Gaterell, R. Matarneh**, Building information modeling for facilities management: A literature review and future research directions // Journal of Building Engineering. 2019. № 24. DOI: 10.1016/j.jobe.2019.100755.
15. **M.A. Berawi**, (2013) Modeling and Simulation in Engineering Design and Technology: Improving Project/Product Performance. International Journal of Technology, Vol. 4 (2), pp. 100–110. DOI: [10.14716/ijtech.v4i2.127](https://doi.org/10.14716/ijtech.v4i2.127)
16. **T.A. Pospelova, A.V. Strekalov, S.M. Knyazev, A.N. Kharitonov**, (2020) Implementation of Digital Twins for Gas Field Management. Oil Province, Volume 1(21), pp. 230–242
17. **V.L. Badenko, N.S. Bolshakov, A.A. Fedotov, V.K. Yadykin**, Tsifrovyye dvoyniki slozhnykh tekhnicheskikh sistem v industrii 4.0: bazovyye podkhody // Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU. Ekonomicheskkiye nauki. 2020. T. 13, № 1. S. 20–30. DOI: 10.18721/JE.13102
18. **Q. Lu, X. Xie, J. Heaton, A.K. Parlikad, J. Schooling**, From BIM towards digital twin: Strategy and future development for smart asset management // Studies in Computational Intelligence. 2020. № 853. P. 392–404. DOI: 10.1007/978-3-030-27477-1_30
19. **R. Govindaraju, I.N.G.K. Dwipayana, S.Y. Salamah**, (2018) IT Governance and ERP Post-Implementation: Analysing the Impact of IT Business Alignment and IT Benefits Management on ERP Operation and Enhancement. International Journal of Technology, Vol. 9(3), pp. 578–588. DOI: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v9i3.1205>
20. **P.E.D. Love, J. Matthews**, The ‘how’ of benefits management for digital technology: From engineering to asset management // Automation in Construction. 2019. № 107. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.102930

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / THE AUTHORS

ПОЛЯНИН Андрей Витальевич

E-mail: polyanin.andrei@yandex.ru

POLYANIN Andrei V.

E-mail: polyanin.andrei@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1158-6898>

ГОЛОВИНА Татьяна Александровна

E-mail: golovina_t78@mail.ru

GOLOVINA Tatyana A.

E-mail: golovina_t78@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9258-4100>

Статья поступила в редакцию 06.09.2021; одобрена после рецензирования 28.09.2021; принята к публикации 11.10.2021.

The article was submitted 06.09.2021; approved after reviewing 28.09.2021; accepted for publication 11.10.2021.