

Раздел 1

МОДЕЛИ, СИСТЕМЫ, СЕТИ В ЭКОНОМИКЕ И УПРАВЛЕНИИ

Section 1

MODELS, SYSTEMS, NETWORKS IN ECONOMICS AND MANAGEMENT

УДК 658
doi: 10.21685/2227-8486-2024-4-1

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ КАК ИНСТРУМЕНТЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ КОМПАНИЕЙ

А. Д. Столяров¹, В. В. Гордеев², В. И. Абрамов³

^{1,2,3} Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия
¹mr.alexst@gmail.com, ²v.gordeev@aerolabs.aero, ³viabramov@mephi.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* В условиях быстрых изменений социально-экономической среды цифровые двойники позволяют компаниям поддерживать более оперативное, продуманное и экономически выгодное принятие решений. Они дают производителям возможность глубже понять сложные физические системы и производственные операции, оптимизировать планирование производства или смоделировать сценарии «что будет, если», чтобы понять, например, влияние выхода новых продуктов. Технология цифровых двойников развивается с высокой скоростью, поэтому цель данной работы заключается в исследовании и обосновании их роли как инструментов повышения эффективности компаний. *Материалы и методы.* Проводятся анализ и оценка существующих в мировой и отечественной практике подходов и методов использования цифровых двойников для повышения эффективности управления компаниями в современной изменчивой социально-экономической среде. При решении поставленных задач были применены общенаучные методы исследования: анализ, синтез и обобщение с применением библиометрического анализа в наукометрических базах Scopus и eLIBRARY. *Результаты.* Показано, что цифровые двойники играют ключевую роль в повышении эффективности управления компаниями в различных областях, представлены конкретные способы, с помощью которых цифровые двойники способствуют повышению эффективности управления. Приводятся характерные особенности практического использования цифровых двойников в промышленной сфере на всех этапах жизненного цикла. *Выводы.* В мире, где умение находить и принимать своевременные эффективные решения может обеспечить конкурентное преимущество или облегчить процесс адаптации к переменам в экономике, цифровые двойники могут стать незаменимыми инструментами для решения проблем, связанных с повышением эффективности бизнеса.

© Столяров А. Д., Гордеев В. В., Абрамов В. И., 2024. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Ключевые слова: цифровые двойники, цифровая трансформация, цифровые технологии, эффективное управление компанией, рекомендательные сервисы, интернет вещей, машинное обучение

Для цитирования: Столяров А. Д., Гордеев В. В., Абрамов В. И. Цифровые двойники как инструменты повышения эффективности управления компанией // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2024. № 4. С. 5–16. doi: 10.21685/2227-8486-2024-4-1

DIGITAL TWINS AS TOOLS FOR INCREASING COMPANY MANAGEMENT EFFICIENCY

A.D. Stolyarov¹, V.V. Gordeev², V.I. Abramov³

^{1, 2, 3} National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia
¹ mr.alexst@gmail.com, ² v.gordeev@aerolabs.aero, ³ viabramov@mephi.ru

Abstract. Background. In a rapidly changing socio-economic environment, digital twins provide companies with the ability to support faster, smarter and more cost-effective decision making. They enable manufacturers to gain a deeper understanding of complex physical systems and manufacturing operations, optimize production planning, or simulate what-if scenarios to understand, for example, the impact of new product launches. The technology of digital twins is developing at a high speed, and therefore the purpose of this work is to study and justify their role as tools for improving the efficiency of companies. *Materials and methods.* The purpose of this study was to analyze and evaluate the approaches and methods of using digital twins existing in world and domestic practice to improve the efficiency of company management in the modern changing socio-economic environment, therefore, in solving the problems, general scientific research methods were applied: analysis, synthesis and generalization using bibliometric analysis in scientometric databases Scopus and eLibrary. *Results.* It is shown that digital twins play a key role in improving the management efficiency of companies in various fields, and specific ways in which digital twins contribute to improving management efficiency are presented. The characteristic features of the practical use of digital twins in the industrial sphere at all stages of the life cycle are given. *Conclusions.* In a world where the ability to find and make timely, effective decisions can provide a competitive advantage or ease the process of adapting to changes in the economy, digital twins can become indispensable tools for solving problems associated with improving business performance.

Keywords: digital twins, digital transformation, digital technologies, effective company management, recommendation services, Internet of things, machine learning

For citation: Stolyarov A.D., Gordeev V.V., Abramov V.I. Digital twins as tools for increasing company management efficiency. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2024;(4):5–16. (In Russ.). doi: 10.21685/2227-8486-2024-4-1

Введение

С приходом четвертой промышленной революции и вступлением в шестую технологическую эру, когда организациям приходится работать в обстановке стремительного развития современного бизнеса, жесткой конкуренции и постоянно меняющейся динамики, важность эффективного управления предприятием становится очевидной. Способность адаптироваться, оптимизировать свою деятельность и принимать обоснованные решения в режиме

реального времени имеет решающее значение для устойчивого успеха. Традиционные методы управления часто не справляются со сложностью современного бизнеса, поэтому для обеспечения его устойчивости и жизнеспособности необходимы инновационные решения. Исследования McKinsey показывают, что руководители динамично развивающихся организаций демонстрируют в 2,1 раза большую операционную устойчивость, в 2,5 раза более высокие финансовые показатели, в 3,0 раза больший рост и в 4,8 раза больше инноваций, чем их коллеги, развивающиеся медленнее [1].

Следует отметить, что распространение цифровых технологий расширило возможности и скорости обмена данными и знаниями [2], и это, в свою очередь, создает новые требования для обеспечения конкурентоспособности в управлении компаниями. Современные архитектуры систем способны обрабатывать большие объемы данных, что позволяет гибко масштабировать рабочую нагрузку [3].

Чтобы обеспечить принятие быстрых, но в то же время и эффективных управленческих решений, компании все больше ориентируются на цифровое управление, которое использует алгоритмические протоколы для автоматизации контроля, координации, стимулирования и доверия [4]. Цифровое управление затрагивает фундаментальные организационные вопросы, такие как повышение программируемости задач для улучшения управления процессами, автоматизация распределения и обмена задачами для облегчения координации, создание стимулов с помощью динамических показателей и обеспечение прозрачности транзакций, необходимой для доверия. Эти технологические решения являются важными предшественниками новых бизнес-моделей, основанных на данных, которые требуют регулирования владения, хранения, передачи, доступа и использования данных за пределами индивидуальных, функциональных и организационных границ.

Информационные средства и технологии стали предметом широкой практики во всех областях экономики и государственного управления. Например, технологии и устройства интернета вещей стали широко внедряться для сбора различных данных, получаемых в течение жизненного цикла продукта [5], облачные технологии обеспечивают управление данными [6], а искусственный интеллект служит для интеллектуального анализа данных и создания ценности / добавленной стоимости [7]. Приближается эра экономики данных, и в России Правительство по поручению президента РФ готовит новый национальный проект «Экономика данных», который должен быть принят в 2024 г. [8]. Термин «экономика данных» относится к системе, в которой данные являются не просто побочным продуктом бизнеса, а рассматриваются как ценный актив. Это изменение парадигмы обусловлено преобразующей силой и потенциалом данных и подчеркивает их роль в качестве катализатора инноваций, эффективности и конкурентных преимуществ во всех отраслях.

Постоянно растущая цифровизация практически всех аспектов повседневной жизни и расширяющиеся возможности сбора, хранения, передачи, анализа и оценки данных привели к тому, что все больше надежд возлагается на концепцию «цифровых двойников» (ЦД) [9]. Конвергенция цифровых технологий породила этот инновационный подход, предлагающий зеркальную цифровую копию физических активов, процессов или систем. В этом контексте «цифровой двойник» можно рассматривать как важнейшую технологию,

обеспечивающую будущее развитие и прогресс. С момента своего появления в 2003 г. эта концепция вызывает неизменный интерес, а количество ежегодных публикаций начиная с 2017 г. растет в геометрической прогрессии [10].

Гривз и Викерс [11] первоначально сформулировали определение цифрового двойника таким образом: «цифровая информационная конструкция физической системы как независимая сущность». «Двойник» в этом контексте подразумевает, что цифровая информация будет связана с физической системой на протяжении всего ее жизненного цикла. Применение этой концепции к производству позволяет производителям создавать соответствующие целям цифровые представления своих производственных систем и процессов, используя собранные данные и информацию для обеспечения анализа, принятия решений и контроля для определенной цели и объема. Под цифровым двойником понимается информационная структура модели физического объекта. Предназначение цифрового двойника – предоставить такую же или более точную, качественную, полную и достоверную информацию, чем та, которая может быть получена при физическом присутствии объекта. Ключевое предположение заключается в том, что тип, степень детализации и объем информации, содержащейся в цифровом двойнике, определяются вариантами использования [12]. Успех модели цифрового двойника будет зависеть от ценности, которую она создает как для производителей, так и для пользователей их продуктов [12]. Цифровые двойники активно применяются не только в производстве, но и в таких сферах, как сельское хозяйство [13], управление энергетикой [14] и регионами [15]. Теория цифрового двойника выходит за рамки традиционного моделирования, поскольку использует данные и возможности подключения в режиме реального времени, позволяя организациям получить беспрецедентное представление о производительности и поведении физических активов или процессов, что дает возможность более глубокого понимания, чем при классических методах мониторинга.

Актуальность этой работы заключается в том, что в динамичной, неопределенной социально-экономической среде цифровые двойники дают компаниям возможность поддерживать более оперативное, умное и экономически рациональное принятие решений, способствовать более глубокому пониманию сотрудниками предприятий сложных физических систем и производственных операций и технологических процессов, оптимизировать планирование производства или моделировать сценарии «что-если», например, для понимания последствий запуска новых продуктов. Технология цифровых двойников развивается интенсивно, и недавний опрос руководителей высшего звена McKinsey показал, что большинство из них уже наблюдают практическое применение цифровых двойников в своих компаниях [16].

Технологии цифровых двойников быстро развиваются, и в числе современных тенденций – интеграция с искусственным интеллектом и машинным обучением, визуализация и взаимодействие в реальном времени, разработка интуитивно понятных интерфейсов, позволяющих работать с цифровыми двойниками пользователям даже без специальной подготовки, а внедрение технологии блокчейна позволяет создавать децентрализованные цифровые двойники, обеспечивая прозрачность, безопасность и надежность данных, поэтому надо понимать перспективность этих технологий для повышения конкурентоспособности компаний.

Цель данной работы – выявить и обосновать возможные пути повышения эффективности компаний с помощью цифровых двойников. Научная новизна работы заключается в том, что на основе комплексного анализа использования цифровых двойников в различных сферах деятельности определены пути повышения эффективности предприятий с учетом специфики разных этапов жизненного цикла продукта.

Материалы и методы

Задача данного исследования – проанализировать и оценить современные подходы и методы использования цифровых двойников в мировой и отечественной практике для повышения качества корпоративного управления в условиях современной турбулентной социально-экономической среды. Для решения поставленной задачи применялись общенаучные методы исследования: поиск, анализ, систематизация, выявление тенденций и обобщение данных. Библиометрический подход с привлечением баз данных Scopus и eLIBRARY позволил провести структурированный обзор и критический анализ научных публикаций зарубежных и отечественных авторов, содержащих материалы по теме настоящего исследования.

Результаты и обсуждение

Современная социально-экономическая среда подвержена частым и резким колебаниям, вызванным высокими темпами технологических разработок, проблемами глобализации, динамикой покупательского восприятия и т.д. Бурное развитие технологий чревато устареванием существующих бизнес-моделей, и компаниям неизбежно придется адаптироваться к этим тенденциям, иначе они рискуют оказаться на грани потери собственной конкурентоспособности. В результате развития глобальных связей открываются все более широкие рыночные возможности, но при этом ужесточается проблема конкуренции, и поэтому компаниям становится труднее ориентироваться в многообразии рынков, справляться со сложностями регулирования и решать проблемы, связанные с цепочками поставок, а изменения потребительских предпочтений заставляют применять инновации и проявлять особую гибкость и изобретательность.

Цифровые двойники представляют собой революционную концепцию в управлении сложными системами, предлагая целостное копирование физических объектов в режиме реального времени в цифровой среде. Следует при этом различать три типа цифровых репликаций [17]:

- первый тип – это цифровая модель, характеризующаяся необходимостью ручной связи между реальным и цифровым двойниками;
- второй тип – это цифровая тень, при которой связь с физического объекта на цифровой осуществляется автоматически, но обратный путь, с цифрового на физический, необходимо выполнять вручную;
- третий тип – это цифровой двойник, который характеризуется автоматизированным переходом от реального объекта к цифровому, и, наоборот, в этом случае цифровая модель может взаимодействовать с реальной и изменять параметры и состояния без необходимости вмешательства человека.

В основе концепции лежит создание виртуального подобия, которое отражает динамику, особенности процессов и состояний его физического оригинала [18]. По данным работы [19], разработанная модель должна поддерживать возможность проведения сценарных испытаний и анализа влияния изменений. В этом случае цифровой двойник служит динамичным и оперативным инструментом для мониторинга, аналитической оценки и оптимизации различных аспектов системы и использования активов.

В работе [20] предложена квалификация ЦД по четырем уровням цифровой зрелости:

- доцифровой двойник: виртуальный прототип, созданный раньше своего физического аналога, его цель – оптимизировать систему и предупредить появление технических проблем или рисков до того, как будет создана физическая система;

- цифровой двойник: соответствует «классической» версии ЦД, где виртуальная модель получает данные из физической системы и обновляет свою модель в соответствии с полученными данными, при этом взаимодействие между виртуальной и физической системами является двунаправленным, что позволяет цифровому двойнику использовать полученные данные и модели виртуальной системы для оптимизации производительности физического аналога;

- адаптивный цифровой двойник: в дополнение к свойствам цифрового двойника он предоставляет возможность изучать (алгоритм машинного обучения) предпочтения и приоритеты пользователей и реинвестировать их, создавая интерфейс, чувствительный к этим критериям;

- интеллектуальный цифровой двойник: предоставляет все функции адаптивного цифрового двойника, обеспечивая не только внутренние адаптивные возможности, но и учитывая другие объекты, сосуществующие в среде.

В работе [21] представлен эффективный метод оптимизации процесса точечной сварки с точки зрения качества геометрических характеристик шва. Результаты показывают, что предложенный метод позволяет на 60–80 % сократить время процесса при оптимальном уровне качества сварных швов. Интересный опыт повышения производительности и снижения затрат с использованием цифрового двойника реализован в строительстве для логистических процессов, которые обычно характеризуются весьма ограниченной прозрачностью и неэффективной организацией [22]. Достигнутые эффекты: оперативное планирование пополнения запасов в режиме реального времени, прогнозирование сроков пополнения запасов, полная доступность эксплуатационных данных, улучшение уровня обслуживания и более высокая удовлетворенность клиентов. Руководство имеет возможность принятия решений в режиме реального времени, и такая информация, в частности, может быть использована для переговоров о гибких ценах.

Анализ приведенных выше работ показывает, что цифровые двойники имеют ключевое значение как средство достижения высокой эффективности управления организацией в различных областях. На основе этих выводов в табл. 1 представлены конкретные способы, с помощью которых цифровые двойники оказывают влияние на рост эффективности управленческой деятельности.

Таблица 1

Способы использования цифровых двойников
для повышения эффективности компаний

Способы использования	Описание и преимущества
Принятие решений на основе данных	Предоставление и поддержка огромных объемов данных в режиме реального времени: анализ данных позволяет руководству компании принимать обоснованные решения, повышая гибкость и адаптируемость [17]
Совершенствование качества обслуживания клиентов	Обеспечение персонализированного обслуживания клиентов: компании могут адаптировать продукты или услуги на основе предпочтений клиентов, повышая удовлетворенность и лояльность клиентов [21]
Предиктивное обслуживание	Мониторинг и контроль состояния физических ресурсов и активов: предиктивная аналитика, основанная на данных цифровых двойников, помогает прогнозировать потребности в обслуживании, сокращая время простоев и оптимизируя производительность активов [22]
Оптимизация операционных и технологических процессов	Моделирование и анализ операционных и технологических процессов: данные оптимизации обеспечивают более высокий уровень производственного процесса и использования ресурсов [20, 21]
Оптимизация цепочки поставок	Обеспечение прозрачности всей цепочки поставок: компании могут оптимизировать уровень запасов, упорядочить и упростить логистику, поднять показатели работы всей цепочки поставок [22]
Моделирование для принятия решений	Разработка сценариев развития событий: лица, принимающие решения, имеют возможность оценивать влияние различных стратегий, что повышает точность решений и минимизирует риски [19]
Контроль показателей качества	Контроль показателей качества выпускаемой продукции в режиме реального времени: раннее обнаружение дефектов или отклонений позволяет немедленно предпринять корректирующие действия, обеспечивая более высокое качество продукции и сокращая отходы [18]
Дистанционный мониторинг и контроль	Удаленный мониторинг и контроль операций: компании могут управлять активами и процессами на расстоянии, повышая операционную гибкость и снижая необходимость физического присутствия [18]
Снижение рисков	Проведение комплексной оценки рисков: компании могут заранее выявлять и снижать потенциальные риски, обеспечивая безопасность операций и сводя к минимуму сбои [21]
Обучение и развитие навыков	Поддержка среды обучения для сотрудников: компании могут повышать квалификацию сотрудников за счет актуального практического обучения, сокращения сроков подготовки и повышения операционной эффективности [22]

Сложные инженерные системы, такие как самолеты, корабли и ветряные турбины, рассчитаны на эксплуатацию в течение десятилетий в жестких условиях, и в процессе их работы неизбежно ухудшение характеристик, что может привести к отказу и высоким затратам на обслуживание. Для повышения точности и надежности прогнозирования и управления техническим состоянием

инженерных систем и сложного оборудования также предлагается использовать цифровые двойники [23]. Они применяются для контроля состояния оборудования, выполнения диагностики и прогнозирования, а также разработки правил проектирования технического обслуживания [24]. Для таких систем цифровые двойники необходимо использовать на четырех этапах жизненного цикла продукта: создание, сборка, эксплуатация и утилизация [12]. Особенности применения цифровых двойников на разных этапах жизненного цикла представлены в табл. 2 [25].

Таблица 2

Применение цифровых двойников на разных этапах жизненного цикла

Этап проектирования	Стадия производства (операционное управление)	Стадия производства (планирование)	Этап обслуживания	Стадия завершения эксплуатации / утилизация
Итерационная оптимизация	Мониторинг в режиме реального времени	Прогнозирование производительности	Предиктивное обслуживание	Требуется исследований
Обеспечение целостности данных	Контроль производства	Взаимодействие человек – машина	Диагностика и обнаружение дефектов	
Виртуальная оценка и проверка	Управление активами	Оценка процесса и оптимизация	Мониторинг состояния	
	Планирование производства		Прогнозирование эффективности	
			Виртуальное тестирование	

Важно отметить, что на всех этапах жизненного цикла продукта цифровые двойники позволяют повысить качество управленческих решений с использованием многих критериев [26] и анализа их чувствительности ко многим факторам [27], что особенно важно в условиях изменяющейся внешней среды. Современное программное обеспечение для многокритериальной оптимизации позволяет проанализировать миллионы гипотетических управленческих и производственных решений с помощью цифрового двойника и выбрать из них оптимальные.

Многие компании предпочитают разрабатывать собственных цифровых двойников по индивидуальным спецификациям. В то же время существует множество «стартовых пакетов», которые могут быть включены в дизайн цифровых двойников, поддерживая взаимосвязанные данные, предоставляя удобный пользовательский интерфейс или выступая в качестве оптимизатора различных производственных затрат.

Заключение

Проведен анализ и показаны возможности цифровых двойников в сфере повышения эффективности управления компаниями в условиях динамичной бизнес-среды. Показано, что цифровые двойники играют ключевую роль в повышении эффективности управления компаниями в различных областях,

представлены конкретные способы, с помощью которых цифровые двойники способствуют повышению эффективности управления. Приводятся характерные особенности практического использования цифровых двойников на всех этапах жизненного цикла. В мире, где умение находить и принимать своевременные и эффективные решения может обеспечить конкурентное преимущество или облегчить процесс адаптации к переменам в экономике, цифровые двойники могут стать незаменимыми инструментами для решения проблем, связанных с повышением эффективности бизнеса, они превращаются в необходимый инструмент для предприятий практически всех отраслей. Использование цифровых двойников в качестве неотъемлемых компонентов управления компанией способствует повышению эффективности, инноваций и устойчивости во все более сложной бизнес-среде.

Список литературы

1. Smet A. D., Mygatt E., Sheikh I., Weddle B. The need for speed in the post-COVID-19 era – and how to achieve it. 2020. URL: [https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business %20functions/people %20and %20organizational %20performance/our %20insights/the %20need %20for %20speed %20in %20the %20post %20covid %2019 %20era %20and %20how %20to %20achieve %20it/the-need-for-speed-in-the-post-covid-19-and-how-to-achieve-it.pdf?shouldIndex=false](https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/people%20and%20organizational%20performance/our%20insights/the%20need%20for%20speed%20in%20the%20post%20covid%2019%20era%20and%20how%20to%20achieve%20it/the-need-for-speed-in-the-post-covid-19-and-how-to-achieve-it.pdf?shouldIndex=false) (дата обращения: 25.01.2024).
2. Hanelt A., Bohnsack R., Marz D., Marante A. C. A Systematic Review of the Literature on Digital Transformation: Insights and Implications for Strategy and Organizational Change // Journal of Management Studies. 2021. Vol. 58 (5). P. 1159–1197.
3. Столяров А. Д., Гордеев В. В., Абрамов В. И. Архитектура системы кластеризации пассажиров // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2023. № 1. С. 136–148. doi: 10.21685/2227-8486-2023-1-9
4. Vaia G., Arkhipova D., DeLone W. Digital Governance Mechanisms and Principles that Enable Agile Responses in Dynamic Competitive Environments // European Journal of Information Systems. 2022. Vol. 31 (6). P. 662–680. doi: 10.1080/0960085X.2022.2078743
5. Xu L. D., He W., Li S. Internet of things in industries: a survey // IEEE Trans Ind Informat. 2014. Vol. 10 (4). P. 2233–2243.
6. Jiang L., Xu L. D., Cai H. An IoT-oriented data storage framework in cloud computing platform // IEEE Trans Ind Informat. 2014. Vol. 10 (2). P. 1443–1451.
7. O'Leary D. E. Artificial intelligence and big data // IEEE Intell Syst. 2013. Vol. 28 (2). P. 96–99.
8. Национальный проект «Экономика данных». URL: <http://government.ru/rugovclassifier/909/events/> (дата обращения: 25.01.2024).
9. Gartner: использование цифровых двойников становится массовым. URL: <https://www.computerworld.ru/cio/news/250219-Gartner-ispolzovanie-tsifrovyyh-dvoynikov-stanovitsya-massovym> (дата обращения: 25.01.2024).
10. Valk H. van der, Haße H., Möller F. [et al.]. A Taxonomy of Digital Twins // AMCIS. 2020. P. 1–10.
11. Grieves M., Vickers J. Digital Twin: Mitigating Unpredictable // Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems / ed. by F.-J. Kahlen [et al.]. Springer International Publishing Switzerland, 2017. doi: 10.1007/978-3-319-38756-7 4
12. Grieves M. Virtually Intelligent Product Systems: Digital and Physical Twins // Complex Systems Engineering: Theory and Practice. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2019. doi: 10.2514/5.9781624105654.0175.0200
13. Абрамов В. И., Гордеев В. В., Столяров А. Д. Цифровые двойники с использованием агродронов в управлении растениеводством: особенности создания и

- перспективы // АПК: экономика, управление. 2024. № 4. С. 37–49. doi: 10.33305/244-37 EDN: GCXIP1
14. Абрамов В. И., Гордеев В. В., Столяров А. Д. Цифровые двойники: характеристики, типология, практики развития // Вопросы инновационной экономики. 2024. Т. 14, № 3. С. 691–716. doi: 10.18334/vines.14.3.121484 EDN: UKAJFT
15. Абрамов В. И., Андреев В. Д. Сравнительный анализ цифровых двойников регионов // Информационное общество. 2023. № 4. С. 106–117.
16. Camarella S., Conway M. P., Goering K., Huntington M. Digital twins: The next frontier of factory optimization. 2024. URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/digital-twins-the-next-frontier-of-factory-optimization?stcr=4642D992DD1340C9A9F863247BA7D822&cid=other-eml-alt-mip-mck&hlkid=66f014e83ad04d2c8c36942dc48aac99&hctky=15028795&hdpid=45519848-eaa7-456d-a9e6-8f9644db1500> (дата обращения: 25.01.2024).
17. Negri E., Berardi S., Fumagalli L., Macchi M. MES-integrated digital twin frameworks // Journal of Manufacturing Systems. 2020. Vol. 56. P. 58–71. doi: 10.1016/j.jmsy.2020.05.007
18. Moyné J., Qamsane Y., Balta E. [et al.]. A requirements driven digital twin framework. Specification and Opportunities // IEEE. 2017. Vol. 8. P. 107781–107801. doi: 10.1109/ACCESS.2020.3000437
19. Weyer S., Meyer T., Ohmer M. [et al.]. Future modeling and simulation of CPS-based factories: an example from the automotive Industry // IFAC. 2016. Vol. 49. P. 97–102. doi: 10.1016/j.ifacol.2016.12.168
20. Madni A., Madni C., Lucero S. Leveraging Digital Twin Technology in Model-Based Systems Engineering // Systems. 2019. Vol. 7, № 1. P. 7. doi: 10.3390/systems7010007
21. Tabar R. S., Warmefjord R., Soderberg R., Lindkvist L. Efficient spot welding sequence optimization in a geometry assurance digital twin // J. Mech. Des. Trans. ASME. 2020. Vol. 142, № 10. doi: 10.1115/1.4046436
22. Greif T., Stein N., Flath C. M. Peeking into the void: Digital twins for construction site logistics // Comput. Ind. 2020. Vol. 121. P. 103264. doi: 10.1016/j.compind.2020.103264
23. Tao F., Zhang M., Liu Y., Nee A. Y. C. Digital twin driven prognostics and health management for complex equipment // CIRP Annals – Manufacturing Technology. CIRP-1788. 2018. P. 1–5. doi: 10.1016/j.cirp.2018.04.055
24. Gao R., Wang L. H., Teti R. [et al.]. Cloudenabled Prognosis for Manufacturing // CIRP Annals – Manufacturing Technology. 2015. Vol. 64 (2). P. 749–772.
25. Liu M., Shuiliang Fang S., Dong H., Xu C. Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial applications // Journal of Manufacturing Systems. 2021. Vol. 58. P. 346–361. doi: 10.1016/j.jmsy.2020.06.017
26. Столяров А. Д., Гордеев В. В., Абрамов В. И. Методика поиска многокритериальных решений на основе цифровых двойников // Экономика и управление. 2023. Т. 29, № 7. С. 851–858. doi: 10.35854/1998-1627-2023-7-851-858 EDN: BWERQI
27. Абрамов В. И., Головин О. Л., Столяров А. Д. Методика поиска Парето-оптимальных решений по развитию умных городов на базе их цифровых двойников // Современная экономика: проблемы и решения. 2021. № 9. С. 8–15. doi: 10.17308/mepps.2021.9/2666 EDN: HFOOSH

References

1. Smet A.D., Mygatt E., Sheikh I., Weddle B. *The need for speed in the post-COVID-19 era – and how to achieve it*. 2020. Available at: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/people%20and%20organizational%20performance/our%20insights/the%20need%20for%20speed%20in%20the%20post%20covid%2019%20era%20and%20how%20to%20achieve%20it/the-need-for-speed-in-the-post-covid-19-and-how-to-achieve-it.pdf?shouldIndex=false> (accessed 25.01.2024).

2. Hanelt A., Bohnsack R., Marz D., Marante A.C. A Systematic Review of the Literature on Digital Transformation: Insights and Implications for Strategy and Organizational Change. *Journal of Management Studies*. 2021;58(5):1159–1197.
3. Stolyarov A.D., Gordeev V.V., Abramov V.I. Architecture of the passenger clusterization system. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2023;(1):136–148. (In Russ.). doi: 10.21685/2227-8486-2023-1-9
4. Vaia G., Arkhipova D., DeLone W. Digital Governance Mechanisms and Principles that Enable Agile Responses in Dynamic Competitive Environments. *European Journal of Information Systems*. 2022;31(6):662–680. (In Russ.). doi: 10.1080/0960085X.2022.2078743
5. Xu L.D., He W., Li S. Internet of things in industries: a survey. *IEEE Trans Ind Informat*. 2014;10(4):2233–2243.
6. Jiang L., Xu L.D., Cai H. An IoT-oriented data storage framework in cloud computing platform. *IEEE Trans Ind Informat*. 2014;10(2):1443–1451.
7. O'Leary D.E. Artificial intelligence and big data. *IEEE Intell Syst*. 2013;28(2):96–99.
8. *Natsional'nyy proekt «Ekonomika dannykh» = National Project "Data Economics"*. (In Russ.). Available at: <http://government.ru/rugovclassifier/909/events/> (accessed 25.01.2024).
9. *Gartner: ispol'zovanie tsifrovyykh dvoynikov stanovitsya massovym = Gartner: The use of digital doubles is becoming widespread*. (In Russ.). Available at: <https://www.computerworld.ru/cio/news/250219-Gartner-ispolzovanie-tsifrovyyh-dvoynikov-stanovitsya-massovym> (accessed 25.01.2024).
10. Valk H. van der, Haße H., Möller F. et al. A Taxonomy of Digital Twins. *AMCIS*. 2020:1–10.
11. Grieves M., Vickers J. Digital Twin: Mitigating Unpredictable. *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems*. Ed. by F.-J. Kahlen et al. Springer International Publishing Switzerland, 2017. doi: 10.1007/978-3-319-38756-7_4
12. Grieves M. Virtually Intelligent Product Systems: Digital and Physical Twins. *Complex Systems Engineering: Theory and Practice*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2019. doi: 10.2514/5.9781624105654.0175.0200
13. Abramov V.I., Gordeev V.V., Stolyarov A.D. Digital twins using agrodrons in crop management: creation features and prospects. *APK: ekonomika, upravlenie = Agroindustrial Complex: economics, management*. 2024;(4):37–49. (In Russ.). doi: 10.33305/244-37 EDN: GCXIPI
14. Abramov V.I., Gordeev V.V., Stolyarov A.D. Digital twins: characteristics, typology, development practices. *Voprosy innovatsionnoy ekonomiki = Issues of innovative economics*. 2024;14(3):691–716. (In Russ.). doi: 10.18334/vinec.14.3.121484 EDN: UKAJFT
15. Abramov V.I., Andreev V.D. Comparative analysis of digital counterparts of regions. *Informatsionnoe obshchestvo = Information Society*. 2023;(4):106–117. (In Russ.)
16. Camarella S., Conway M.P., Goering K., Huntington M. *Digital twins: The next frontier of factory optimization*. 2024. Available at: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/digital-twins-the-next-frontier-of-factory-optimization?stcr=4642D992DD1340C9A9F863247BA7D822&cid=other-eml-alt-mip-mck&hlkid=66f014e83ad04d2c8c36942dc48aac99&hctky=15028795&hdpid=45519848-eaa7-456d-a9e6-8f9644db1500> (accessed 25.01.2024).
17. Negri E., Berardi S., Fumagalli L., Macchi M. MES-integrated digital twin frameworks. *Journal of Manufacturing Systems*. 2020;56:58–71. doi: 10.1016/j.jmsy.2020.05.007
18. Moyne J., Qamsane Y., Balta E. et al. A requirements driven digital twin framework. Specification and Opportunities. *IEEE*. 2017;8:107781–107801. doi: 10.1109/ACCESS.2020.3000437
19. Weyer S., Meyer T., Ohmer M. et al. Future modeling and simulation of CPS-based factories: an example from the automotive Industry. *IFAC*. 2016;49:97–102. doi: 10.1016/j.ifacol.2016.12.168

20. Madni A., Madni C., Lucero S. Leveraging Digital Twin Technology in Model-Based Systems Engineering. *Systems*. 2019;7(1):7. doi: 10.3390/systems7010007
21. Tabar R.S., Warmefjord R., Soderberg R., Lindkvist L. Efficient spot welding sequence optimization in a geometry assurance digital twin. *J. Mech. Des. Trans. ASME*. 2020;142(10). doi: 10.1115/1.4046436
22. Greif T., Stein N., Flath C.M. Peeking into the void: Digital twins for construction site logistics. *Comput. Ind.* 2020;121:103264. doi: 10.1016/j.compind.2020.103264
23. Tao F., Zhang M., Liu Y., Nee A.Y.C. Digital twin driven prognostics and health management for complex equipment. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. *CIRP-1788*. 2018:1–5. doi: 10.1016/j.cirp.2018.04.055
24. Gao R., Wang L.H., Teti R. et al. Cloudenabled Prognosis for Manufacturing. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 2015;64(2):749–772.
25. Liu M., Shuiliang Fang S., Dong H., Xu C. Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial applications. *Journal of Manufacturing Systems*. 2021;58:346–361. doi: 10.1016/j.jmsy.2020.06.017
26. Stolyarov A.D., Gordeev V.V., Abramov V.I. Methodology for searching for multi-criteria solutions based on digital doubles. *Ekonomika i upravlenie = Economics and management*. 2023;29(7):851–858. (In Russ.). doi: 10.35854/1998-1627-2023-7-851-858 EDN: BWERQI
27. Abramov V.I., Golovin O.L., Stolyarov A.D. Methods of searching for Pareto-optimal solutions for the development of smart cities based on their digital counterparts. *Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya = Modern economics: problems and solutions*. 2021;(9):8–15. (In Russ.). doi: 10.17308/meeps.2021.9/2666 EDN: HFOOSH

Информация об авторах / Information about the authors

Александр Дмитриевич Столяров
соискатель,
Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ»
(Россия, г. Москва, Каширское шоссе, 31)
E-mail: mr.alexst@gmail.com

Aleksandr D. Stolyarov
Applicant,
National Research Nuclear University
MEPhI
(31 Kashirskoe highway, Moscow, Russia)

Владимир Владимирович Гордеев
аспирант,
Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ»
(Россия, г. Москва, Каширское шоссе, 31)
E-mail: v.gordeev@aerolabs.aero

Vladimir V. Gordeev
Postgraduate student,
National Research Nuclear University
MEPhI
(31 Kashirskoe highway, Moscow, Russia)

Виктор Иванович Абрамов
доктор экономических наук,
кандидат физико-математических наук,
доцент, профессор кафедры управления
бизнес-проектами,
Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ»
(Россия, г. Москва, Каширское шоссе, 31)
E-mail: viabramov@mephi.ru

Viktor I. Abramov
Doctor of economical sciences,
candidate of physical and mathematical
sciences, associate professor,
professor of the sub-department
of business project management,
National Research Nuclear University
MEPhI
(31 Kashirskoe highway, Moscow, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 30.01.2024

Поступила после рецензирования/Revised 13.11.2024

Принята к публикации/Accepted 19.11.2024