

УДК 338.45

DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-8-124-133

**ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ****THE OPPORTUNITIES FOR USING DIGITAL TWINS IN INDUSTRY**

**Г. Б. Коровин**, Институт экономики Уральского отделения Российской академии наук,  
г. Екатеринбург  
korovin.gb@uiec.ru

**G. Korovin**, Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Yekaterinburg

Цифровой двойник является одной из важнейших технологических концепций в рамках Индустрии 4.0. Этот термин часто используется в актуальных исследовательских и практических работах, посвященных перспективам развития промышленности. *Объектом* данного исследования является процесс использования цифрового двойника в промышленности, *предметом* исследования – экономические отношения, складывающиеся в процессе его использования в промышленности. *Цель* исследования – научно обосновать место цифрового двойника в промышленности, представить его основные характеристики, оценить возможности применения и эффекты для промышленных предприятий. Сложность исследования данного объекта предопределяет необходимость использования методологии сбора фрагментированных данных, систематизации мнений ученых и анализа практического опыта. В результате исследования научных материалов выделен ряд подходов к определению понятия «цифровой двойник» и дополняющих его понятий. Сформулированы ключевые признаки цифрового двойника, включающие виртуальное динамическое представление физического объекта, автоматический и двунаправленный обмен данными, возможности наблюдать, оптимизировать работу, симулировать поведение, прогнозировать состояние физического объекта. Представлена структура цифрового двойника в виде основных элементов и информационных и управленческих связей. Предложена классификация цифровых двойников и выделены важные для него технологии и технологические направления. Анализ практики создания и использования цифрового двойника в промышленности позволил определить область его применения и основные эффекты использования. Результаты исследования могут быть полезны для ученых, специалистов промышленных предприятий, представителей органов власти для формирования стратегии развития промышленного комплекса в процессе цифровизации. Полученные результаты могут стать основой для дальнейшего развития методологии использования концепции цифрового двойника в отечественной промышленности

**Ключевые слова:** цифровой двойник; индустрия 4.0; цифровизация; промышленность; цифровая экономика; технологическое развитие; промышленная политика; цифровая тень; технология; промышленное производство

The digital twin is one of the most important technological concepts in the framework of Industry 4.0. This term is often used in research and practical works devoted to the prospects of industrial development. The object of this study is the process of digital twin using in industry, and the subject of the study is the economic relations in the process of digital twin use in industry. The purpose of the article is to determine the value of the digital twin in industry, its main characteristics, possibilities of its application and effects for industrial enterprises. The complexity of this object determines the need to use a methodology for collecting fragmented data, systematizing the opinions of scientists and analyzing practical experience.

The result of the research is identification of approaches to the definition of the digital twin concept and its complementary concepts. The key features of a digital twin, including a virtual dynamic representation of a physical object, automatic and bidirectional data exchange, the ability to observe, optimize work, simulate behaviour are formulated, and the state of a physical object is predicted in the article. The structure of the digital twin in the form of basic elements and information and management links is presented. The classification of digital twins, related important technological directions is proposed. The analysis of the practice of creating and using a digital double in industry allowed the author to determine the scope of its application and the main effects of use.

The results of the study can be useful for researchers, specialists of industrial enterprises, representatives of government authorities to form a strategy for the industrial complex development in the process of digitalization. The obtained results can become the basis for the further development of the digital twin concept using methodology in the domestic industry

**Key words:** digital twin; industry 4.0; digitalization; industry; digital economy; technological development; industrial policy; digital shadow; technology; industrial production

**В**ведение. Концентрация внимания на Индустрии 4.0 и процессах цифровизации связана с оценкой масштабов влияния новых технологий на экономическую, социальную и производственную сферы. На наш взгляд, ключевой особенностью цифровой трансформации является уменьшение необходимости физического присутствия, физической реализации объектов, физических испытаний, смещение деятельности в виртуальное пространство и т. д. Физические объекты в производственном процессе должны будут заменяться так называемыми цифровыми двойниками. Технологии цифрового двойника в качестве ключевого элемента киберфизических систем способны обеспечивать мониторинг и управление физическими производственными процессами, используя виртуальную модель, принимать решения на основе анализа большого объема данных, получаемых от объекта.

Актуальность исследования предопределена тем, что цифровые двойники остаются одной из самых перспективных технологий и, по нашему мнению, определяют траекторию развития промышленности на длительный период. На технологичный цифровой двойник уже сейчас опираются проекты по трансформации промышленности. В исследовании рынка двойников компанией Researchandmarkets утверждается, что создание цифрового двойника в ближайшее время станет стандартной процедурой для производства; 92 % опрошенных считают необходимым наличие у продукции интерфейса для подключения к цифровым двойникам; 36 % видят выгоду от применения цифровых двойников, а 53 % из них планируют использовать цифровые двойники в работе своих предприятий до 2028 г. Компания PWC, на основе опроса в 2018 г., выявила, что 60 % респондентов сообщили о внедрении или планировании проектов по внедрению цифровых двойников. Опрос отечественных компаний подтверждает востребованность

технологии цифровых двойников для достижения технологического лидерства (52 % респондентов) [1].

*Объект исследования* – процесс использования цифрового двойника в промышленности.

*Предмет исследования* – экономические отношения, складывающиеся в процессе использования цифрового двойника в промышленности.

*Цель исследования* – научно обосновать место цифрового двойника в промышленности, представить его основные характеристики, оценить возможности его применения и эффекты для возможных предприятий.

*Методология исследования*. Комплексность явления, которое называют цифровым двойником, важность его применения для отечественной промышленности требуют поиска новых научных подходов для исследования методологии его применения в промышленности, определения его типов, основных функций, оценки применимости и т. д.

Сложность исследования этого объекта предопределена постоянным развитием взглядов ученых и практиков, отсутствием стандартов. В статье использованы принцип объективности, принцип всесторонности и принцип развития, деятельностный подход.

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. [4]. Недостаток надежной статистической информации по опыту внедрения и использования цифрового двойника в промышленности предопределяет использование научных методов наблюдения, сбора доступной информации, анализа опыта разработки и применения цифрового двойника, детализации его структурных элементов, процесса создания, а также оценки суще-

ствующих и перспективных экономических параметров рынка цифровых двойников.

*Результаты исследования.* Считается, что концепция цифрового двойника впервые была упомянута в 2002 г. по поводу новых возможностей удешевления разработки продукта, далее термин «цифровой двойник» появился в определении NASA. Особенностью этой концепции являлось информационное объединение «реального» и «виртуального» пространств [10]. Основной сферой, где зародилось это понятие, остается промышленная деятельность, однако область применения данного комплекса технологий расширяется: появляются попытки создания цифровых двойников процессов, живых и неживых природных объектов, месторождений, магазинов, покупателей, городов, регионов и т. д.

Предшественниками цифрового двойника можно назвать концепции аватара продукта (product avatar) [11], концепцию интел-

лектуального продукта (intelligent product) [22], цифровой схемы (digital blueprint) [6]; модель цифрового зеркала (digital mirror model, digital reflection), цифровой тени (digital shadow) [7], тени продукта (device shadow) [17], цифровой нити (digital thread) [18] и другие. Обобщение этих и дополняющих понятий можно найти в обзорной статье Trauer [20].

В целом, можно сказать, что понимание цифрового двойника довольно размыто. В исследовании High Value Manufacturing Catapult в 2018 г. около 90 % опрошенных технических специалистов охарактеризовали цифровой двойник как виртуальную копию физического объекта, используемую для мониторинга его работы. Исследование научных материалов и мнений представителей практики позволило выделить ряд подходов к определению понятия «цифровой двойник» (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

*Научные подходы к определению цифрового двойника / Approaches to the definition of a digital twin*

<b>Подход / Approach</b>	<b>Особенности и примеры определений / Features and examples of definitions</b>
<b>Общий подход / General</b>	Цифровой двойник – это цифровая копия живой или неживой физической сущности. Соединяя физический и виртуальный мир, данные передаются, позволяя виртуальной сущности существовать одновременно с физической сущностью [16]
<b>Виртуальная модель / Virtual model</b>	Цифровой двойник – это цифровая динамическая модель в виртуальном мире, полностью соответствующая ее физическому объекту в реальном мире, с возможностью имитации его характеристик, поведения, жизненного цикла и производительности [21]. Цифровой двойник – это моделирование производственной системы на основе имитационных правил в рамках прогнозирования и планирования производства. Цифровое представление активного уникального продукта или уникальной системы продукт-услуга, которая включает его выбранные характеристики, свойства, условия и поведение посредством моделей, информации, а также данные в рамках одной или даже нескольких фаз жизненного цикла [19]
<b>Средство обмена данными / Data exchange facility</b>	Другой подход к определению делает акцент на необходимости обмена информацией между двумя пространствами посредством датчиков, моделей и исполнительных механизмов [15]. Цифровой двойник – это виртуальное динамическое представление физической системы, которая подключена к ней на протяжении всего жизненного цикла для двунаправленного обмена данными [20]
<b>Элемент киберфизической системы / CPS element</b>	Цифровой двойник – это точная виртуальная копия физической системы, которая действительно представляет все ее функциональные возможности или является элементом киберфизической системы, представляет данные о производственной системе для сотрудников [5; 9]
<b>Комплекс цифровых технологий / Complex of digital technologies</b>	Цифровой двойник – комплекс цифровых технологий, которые используют подходы статистического анализа, машинного обучения, химии, физики, теории управления, теории надежности, теории массового обслуживания, численного моделирования, оптимизации
<b>Функциональный подход / Functional approach</b>	Цифровой двойник – это обучаемая система, состоящая из комплекса математических моделей разного уровня сложности, уточняемая по результатам натуральных экспериментов, позволяющая получить первый натуральный образец изделия, соответствующий требованиям технического задания, а также предсказывающая его поведение на всем жизненном цикле. Цифровой двойник предполагает использование лучших доступных физических моделей, датчиков, исторических данных, чтобы точно отразить жизнь своего двойника – физического объекта [8]. Цифровой двойник предназначен для отражения всех производственных дефектов и обновляемый с учетом износа, вызванного эксплуатацией; имеет функции интеллектуального управления

Существует ряд понятий, которые дополняют концепцию цифрового двойника. Термин «цифровая нить» продолжает использоваться и предполагает расширение цифровой интеграции проектирования и производства на протяжении всего жизненного цикла продукта [13]. Важнейшим и широко используемым понятием в этой области и структурным элементом двойника является цифровая тень (digital shadow). Последнюю образуют знания об объекте, предоставляемые датчиками, генерируемые исследователями и искусственным интеллектом, которые затем преобразуются в формальные правила и законы поведения физической системы. Здесь же следует сказать о термине «цифровой мастер» (digital master), который содержит информацию об изготовлении изделия с определенными физическими свойствами [12].

Исходя из структуры определений, мы можем сформулировать ключевые *признаки цифрового двойника*:

1) максимально точное виртуальное динамическое представление физического

объекта или системы – модель, определяющая структуру, конструкцию, функции, технологические параметры, детальное текущее техническое состояние, иные свойства и поведение физического объекта;

2) между цифровым двойником и физической системой происходит автоматический и двунаправленный обмен данными (со стороны физического объекта – данные датчиков, со стороны цифрового двойника – управляющие воздействия);

3) цифровой двойник предоставляет возможность наблюдать, оптимизировать работу, симулировать поведение, прогнозировать состояние физического объекта и неисправности используя искусственный интеллект и машинное обучение. Компонентами цифрового двойника могут быть иные маркетинговые, конструкционные, технологические, эксплуатационные данные и данные по утилизации.

Цифровой двойник можно представить в виде основных элементов и информационных и управленческих связей (см. рисунок).



Структура цифрового двойника / The structure of the digital twin

Разнообразие подходов к пониманию цифровых двойников приводит к многообразию подходов по их классификации. Важнейшим критерием представляется уровень зрелости, поскольку технологии создания трехмерных моделей изделий, отслеживания технического состояния оборудования, а также физические модели физических объектов были известны и получили широкое распространение задолго до появления

концепции цифрового двойника и характеризуют так называемый предцифровой этап развития. Цифровой этап развития этих технологий, на наш взгляд, заключается в интеграции этих элементов, в появлении имитационных, предиктивных, аналитических возможностей у цифровых двойников. Попытка объединить существующие классификации позволила оставить наиболее значимые критерии (табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

## Классификация цифровых двойников / Classification of digital twins

Критерий / Criteria	Виды цифровых двойников / Types of digital twins
Уровень зрелости цифрового двойника / The maturity level of the digital twin	Цифровая модель высокой точности, использующая модели физических процессов. Цифровой двойник, связанный с физическим объектом. Адаптивный цифровой двойник, способный обновляться на основе данных, получаемых от физического объекта. Интеллектуальный цифровой двойник дополнительно обладает способностью машинного обучения, прогнозирования событий. Цифровой двойник, соединяющий технические задачи по оптимизации операционной деятельности с финансовыми моделями. Автономный цифровой двойник управляющий объектом и принимающий решения о техобслуживании, ремонте, обновлении и т. д. [4; 14]
Сложность объекта / Object complexity	Цифровой двойник компонента (детали); изделия; комплексного объекта; предприятия, промышленного процесса
Выполняемая функция / Function	Хранение технических данных, мониторинг, взаимодействие с физическим объектом, предсказание будущих состояний, симуляция состояний, обработка данных
Технологическая полнота / Technological completeness	Различные цифровые двойники могут включать модели отдельных физических процессов объекта, конструкцию, данные о материалах, об эксплуатационных режимах, о технологиях производства и сборки, возможностях кастомизации; ресурсных ограничениях и т. д. [1]
Степень готовности / Degree of completion	Цифровые двойники-прототипы, цифровые двойники-экземпляры, агрегированные двойники

Практика создания цифровых двойников привела к появлению моделей, основанных на данных, и моделей, основанных на математическом моделировании физических процессов, каждая из которых имеет свои достоинства. На практике могут применяться гибридные подходы, использующие моделирование физических процессов и результаты обработки данных о работе физического объекта.

Ограничить комплекс технологий, связанных непосредственно с цифровым двойником, сложно, но можно говорить, что большинство цифровых технологий могут быть использованы при создании двойника. Технологически цифровые двойники становятся центральными элементами киберфизической системы [5]. Обобщение информации

о создании цифровых двойников в промышленности позволило представить используемые в элементах промышленного цифрового двойника технологии и технологические направления (табл. 3).

Сфера использования цифровых двойников в промышленности достаточно широка. Как уже было отмечено, цифровые двойники начального типа длительное время работают в сфере промышленной автоматизации. Если говорить о современных цифровых двойниках, то они являются не просто средством автоматизации производства, а позволяют решить комплекс проблем, связанных с ускорением разработки опытных образцов, ускорением вывода изделия на рынок, созданием и тестированием модификаций изделия,

уменьшением количества и стоимости натуральных испытаний. Двойник конкретной детали изделия еще на этапе её проектирования мо-

жет позволить выявить основные конструкционные недостатки с помощью цифровой визуализации и анализа [2].

Таблица 3 / Table 3

*Технологии и технологические направления, используемые при создании цифрового двойника / Technologies used in the creation of a digital twin*

<b>Элемент цифрового двойника / Digital twin element</b>	<b>Используемые технологии и методы / Used technologies and methods</b>
Цифровая модель / Digital model	3D твердотельное моделирование; моделирование физических процессов; моделирование поведения объекта; анализ согласованности моделей; интеграция, верификация, валидация и сертификация моделей
Датчики и технологии передачи данных / Sensors and data transmission technologies	Датчики, сенсоры; беспроводные сети; интернет вещей; системы видеонаблюдения; системы оптимизации расположения датчиков
Средства интеграции и интерпретации данных / Data integration and interpretation tools	Очистка, проверка, хранение данных; анализ, интеграция и слияние данных; искусственный интеллект, машинное обучение; средства симуляции поведения и предиктивная аналитика; облачные вычисления
Интерфейс для пользователей / User interface	Технологии человеко-машинного интерфейса; визуализация данных; виртуальная и дополненная реальность
Средства связи между элементами / Communication between elements	Обеспечение совместимости протоколов связи, интерфейсов; обеспечение беспроводной связи; обеспечение информационной безопасности
Средства управления объектом / Object management tools	Регулируемые механические приводы; средства автоматизации, роботизации; станки с программным управлением. Промышленная электроника; аддитивные технологии; комплексные системы управления производством

Анализ доступной открытой информации показывает, что цифровые двойники разной степени зрелости применяются во многих отраслях промышленности и сфера их применения вышла за пределы высокотехнологического сектора. Авиаационные компании Airbus, Boeing, ОДК, ОКБ им. А. Льюльки используют двойники в проектировании, производстве, эксплуатации двигателей, шасси, других изделий. В судостроении проекты Open Simulation Platform, Veristar AIM 3D используют цифровые двойники для обеспечения интеграции и виртуальных испытаний оборудования. Финская Wartsila, российский Средне-Невский Судостроительный Завод, «Малахит» используют цифровых двойников элементов судов, подводных лодок.

ПАО «КАМАЗ» создает цифрового двойника производства для моделирования сборки и других технологических процессов. Цифровые копии применяются при производстве и эксплуатации поездов «Сапсан» и «Ласточка» Трансмашхолдингом, а Alstom и SimPlan AG разработали цифровой двойник для поддержки принятия решений в сфере технического обслуживания парка поездов.

Заявляют о применении цифровых двойников компании ADNOC, Aker BP, Royal Dutch Shell, McDermott и российские Лукойл, Газпромнефть, «Сибур». По данным ARC Advisory Group, число нефтегазовых компаний, внедряющих интернет вещей и ЦД в период с 2018 по 2022 гг., утроится.

В энергетике Siemens создала цифровую модель работы и технического обслуживания турбин; General Electric разработала цифровой двойник электростанции. GE Renewable, Arctic Wind внедряют решения на ветряных турбинах. Внедряется технология цифрового двойника и на Уральском турбинном заводе, которая предполагает связь между проектом турбины, мультифизическими расчетами и комплексом оптимизации. В Росатоме подпрограмма «Цифровой двойник и прорывные технологии» предполагает разработку цифрового двойника оборудования, цифрового двойника АЭС. Цифровые двойники применяются для повышения своей операционной эффективности и производители массовых потребительских товаров. Практика создания и применения цифрового двойника в промышленности позволила определить основные эффекты его использования (табл. 4).

Таблица 4 / Table 4

*Экономические эффекты использования цифрового двойника / Economic effects of using a digital twin*

<b>Сфера экономического эффекта / Economic effect sphere</b>	<b>Эффекты использования цифрового двойника / Digital twin using effects</b>
Бизнес-процессы / Business processes	Улучшение бизнес-модели компании на основе достоверных оперативных данных о производстве. Принятие проактивных бизнес и производственных решений; снижение стоимости производства
Качество / Quality	Повышение общего качества; прогнозирование и раннее выявление дефектов продукции. Оптимизация запаса прочности, конструкции, повышение эффективности на основании виртуальных испытаний
Проектирование / Design	Снижение расходов на выявление ошибок в проекте; эффективная интеграция разработчиков и поставщиков модулей. Использование данных об эксплуатации для улучшения изделия; сокращение времени проектирования
Испытания / Testing	Снижение затрат за счет виртуального тестирования модификаций изделия, нового дизайна, замены модулей [3; 10]. Виртуальная проработка сценариев эксплуатации
Инновации / Innovations	Быстрое прототипирование, проверка инновационных решений. Получение информации о свойствах будущего изделия, возможность проверки рыночных перспектив продукта
Эксплуатация / Exploitation	Эффективная реализация доработок в виде обновления программ и новых модулей на основе данных об эксплуатации. Цифровая регистрация деталей и сырья, отслеживание отзывов и гарантийных претензий Повышение эффективности обслуживания на основе мониторинга текущего состояния оборудования. Снижение гарантийных выплат за счет повышения надежности
Преодоление удаленности / Remoteness overcoming	Обеспечение доступа к удаленному и территориально-распределенному оборудованию

В качестве факторов, тормозящих развитие рынка цифровых двойников, следует назвать относительно высокую стоимость проектов данного типа. По оценкам агентства Hightechsoftwarecluster, стоимость проекта по созданию цифрового двойника составляет не менее 50 тыс. евро, при этом, прогнозируется ее снижение по мере отработки технологий и развития рынка. В целом, по данным Credence Research, в 2018 г. мировой рынок цифровых двойников составил 3,76 млрд долл. США и прогнозируется достижение 57,38 млрд долл. к 2027 г. Долю промышленного производства на этом рынке оценивают в 25 %. Компания Gartner прогнозирует к 2021 г. рост доли крупных компаний, использующих цифровых двойников до 50 %.

С позиций производителей цифровых двойников, в РФ существует ряд компаний, которые могут поставлять технологии,

компоненты, разработки в области математического моделирования и готовые продукты. Традиционно в РФ изготавливается программное обеспечение для моделирования физических процессов в атомной и авиационно-космической промышленности. К лидирующим странам в разработке технологий и создании цифровых двойников можно отнести США, Китай, Германию, Индию, Японию, Южную Корею и Бразилию.

*Заключение.* Исследование показало, что цифровой двойник, являясь сравнительно новой технологией, уже начал широко применяться. Для промышленных компаний он потенциально может создать новую ценность, новые источники дохода, снизить затраты, предоставить новые технологические возможности на протяжении всего жизненного цикла изделия. Развитие цифровых технологий, повышение скорости передачи данных,

рост вычислительной мощности, развитие искусственного интеллекта смогут повысить эффективность и снизить стоимость цифровых двойников. Использование этой технологии предоставит возможность создавать автономные промышленные объекты, координировать их между собой, выполнять самодиагностику и устранять неисправности. Значительное влияние эта технология окажет на процесс проектирования новых про-

мышленных продуктов, прогнозирования их характеристик, возможных условий эксплуатации, надежности материалов и т. д. Результаты исследования могут быть полезны специалистам промышленных предприятий, формирующих стратегические ориентиры развития, органам власти для формирования эффективных инструментов в рамках программ поддержки цифровизации промышленности.

### Список литературы

1. Боровков А. И., Рябов Ю. А., Метревели И. С., Аликина Е. А. Направление «Технет» (передовые производственные технологии) Национальной технологической инициативы // *Инновации*. 2019. № 11. С. 50–72.
2. Боровков А. И., Гамзикова А. А., Кукушкин К. В., Рябов Ю. А. Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности: краткий доклад. СПб.: ПОЛИТЕХПРЕСС, 2019.
3. Гончаров А. С., Саклаков В. М. Цифровой двойник: обзор существующих решений и перспективы развития технологии // *Информационно-телекоммуникационные системы и технологии: материалы Всерос. науч.-практ. конф. (г. Кемерово, 11–13 октября 2018 г.)*. Кемерово: КГТУ, 2018. С. 24–26.
4. Прохоров А., Лысачев М. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. М.: АльянсПринт, 2020. 401 с.
5. Alam K. M., Saddik A. El C2PS: A Digital Twin Architecture Reference Model for the Cloud-Based Cyber-Physical Systems. *IEEE Access*, 2017, vol. 5, pp. 2050–2062.
6. Bajaj M., Cole B., Zwemer, D. Architecture To Geometry – Integrating System Models With Mechanical Design. *SPACE Conferences and Exposition: AIAA SPACE*, 2016.
7. Erikstad S.O. Merging Physics, Big Data Analytics and Simulation for the Next-Generation Digital Twins, *HIPER'17, 2017, Technical University Hamburg. Harburg: Hamburg*, pp. 140–150.
8. Glaessgen Ed., Stargel D. The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles, 53rd *AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference*. 2012. URL: <https://doi.org/10.2514/6.2012-1818> (дата обращения: 19.09.2021). Текст: электронный.
9. Graessler I., Poehler A. Integration of a digital twin as human representation in a scheduling procedure of a cyber-physical production system, *IEEE // International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 2017, pp. 289–293.
10. Grieves M., Vickers J. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems // *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems*. 2016, pp. 85–113.
11. Hribernik K. A., Rabe L., Thoben K-D., Schumacher J. The product avatar as a product-instance-centric information management concept // *Journal of Applied Physics*. 2006.
12. Kritzing W., Karner M., Traar G., Henjes J., Sihn W. Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification // *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, no 11, pp. 1016–1022.
13. Lubell J. et al. Model-Based Enterprise Summit Report // *Model Based Enterprise Summit*, 2012.
14. Madni A. M., Madni C., Lucero S. Leveraging Digital Twin Technology in Model-Based Systems Engineering // *Systems*. 2019. №7.
15. Negri E., Fumagalli L., Macchi M. A Review of the Roles of Digital Twin in CPS-based Production Systems // *Procedia Manufacturing*, 2017, vol. 11, pp. 939–948.
16. Saddik A. E. Digital Twins: The Convergence of Multimedia Technologies // *IEEE MultiMedia*, 2018, vol. 25, no. 2, pp. 87–92.
17. Schuh G., Blum M. Design of a data structure for the order processing as a basis for data analytics methods // *Portland International Conference on Management of Engineering and Technology*, 2016, pp. 2164–2169.
18. Siedlak D. J. L. et al. A digital thread approach to support manufacturing-influenced conceptual aircraft design // *Research in Engineering Design*, 2018, vol. 29, no. 2, pp. 285–308.
19. Stark R. Damerau T. Digital Twin, *CIRP // Encyclopedia of Production Engineering*, Springer Berlin Heidelberg, 2019, vol. 66, pp. 1–8.
20. Trauer J., Schweigert-Recksiek S., Engel C., Spreitzer K., Zimmermann M. What is a digital twin? *Proceedings of the Design Society // DESIGN Conference*, 2020, vol. 1, pp. 757–766.



21. Zhuang C., Liu J., Xiong H. Digital twin-based smart production management and control framework for the complex product assembly shop-floor // *International journal of advanced manufacturing technology*, 2018, vol. 96, pp. 1149–1163.

22. Wong C.Y., Mcfarlane D., Ahmad Z., Agarwal V. The intelligent product driven supply chain. Conference: Systems, Man and Cybernetics // *IEEE International Conference*, 2002, vol. 4.

## References

1. Borovkov A. I., Ryabov Yu. A., Metreveli I. S., Alikina Ye. A. *Innovatsii (Innovations)*, 2019, no. 11, pp. 50–72.

2. Borovkov A. I., Gamzikova A. A., Kukushkin K. V., Ryabov YU. A. *Tsifrovoye dvoyniki v vysokotekhnologichnoy promyshlennosti: kratkiy doklad (Digital twins in high-tech industry: a short report)*. SPb.: POLYTEKHPRESS, 2019, pp. 1–38.

3. Goncharov A. S., Saklakov V. M. *Informatsionno-telekommunikatsionnye sistemy i tekhnologi (Information and telecommunication systems and technologies: materials of the All-Russian. scientific-practical conf.) (Kemerovo, October 11–13, 2018)*. Kemerovo: KSTU, 2018. P. 24–26.

4. Prokhorov A., Lysachev M. *Tsifrovoy dvoynik. Analiz, trendy, mirovoy opyt (Digital twin. Analysis, trends, world experience)*. Moscow: Alliance Print, 2020. 401 p.

5. Alam K. M., Saddik A. *IEEE Access (IEEE Access)*, 2017, vol. 5, pp. 2050–2062.

6. Bajaj M., Cole B., Zwemer, D. *Architecture To Geometry – Integrating System Models With Mechanical Design (Architecture To Geometry – Integrating System Models With Mechanical Design)*. SPACE Conferences and Exposition: AIAA SPACE, 2016.

7. Erikstad S.O. *Merging Physics, Big Data Analytics and Simulation for the Next-Generation Digital Twins, HIPER'17 (Merging Physics, Big Data Analytics and Simulation for the Next-Generation Digital Twins, HIPER'17)*. Harburg: Technical University Hamburg, 2017, pp. 140–150.

8. Glaessgen Ed., Stargel D. *The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles, 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference (The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles, 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference. 2012)*. Available at: <https://doi.org/10.2514/6.2012-1818> (Date of access: 19.09.2021). Text: electronic.

9. Graessler I., Poehler A. *International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM) (International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM))*, 2017, pp. 289–293.

10. Grieves M., Vickers J. *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems (Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems)*, 2016, pp. 85–113.

11. Hribernik K. A., Rabe L., Thoben K-D., Schumacher J. *Journal of Applied Physics (Journal of Applied Physics)*. 2006.

12. Kritzinger W., Karner M., Traar G., Henjes J., Sihn W. *IFAC-Papers OnLine (IFAC-Papers OnLine)*, vol. 51, no 11, pp. 1016–1022.

13. Lubell J. et al. *Model Based Enterprise Summit (Model Based Enterprise Summit)*, 2012.

14. Madni A. M., Madni C., Lucero S. *Systems (Systems)*, 2019, № 7.

15. Negri E., Fumagalli L., Macchi M. *Procedia Manufacturing (Procedia Manufacturing)*, 2017, vol. 11, pp. 939–948.

16. Saddik A. E. *IEEE MultiMedia (IEEE MultiMedia)*, 2018, vol. 25, no. 2, pp. 87–92.

17. Schuh G., Blum M. *Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (Portland International Conference on Management of Engineering and Technology)*, 2016, pp. 2164–2169.

18. Siedlak D. J. L. et al. *Research in Engineering Design (Research in Engineering Design)*, 2018, vol. 29, no. 2, pp. 285–308.

19. Stark R. Damerou T. *Encyclopedia of Production Engineering, Springer Berlin Heidelberg (Encyclopedia of Production Engineering, Springer Berlin Heidelberg)*, 2019, vol. 66, pp. 1–8.

20. Trauer J., Schweigert-Recksiek S., Engel C., Spreitzer K., Zimmermann M. *DESIGN Conference (DESIGN Conference)*, 2020, vol. 1, pp. 757–766.

21. Zhuang C., Liu J., Xiong H. *International journal of advanced manufacturing technology (International journal of advanced manufacturing technology)*, 2018, vol. 96, pp. 1149–1163.

22. Wong C.Y., Mcfarlane D., Ahmad Z., Agarwal V. *IEEE International Conference (IEEE International Conference)*, 2002, vol. 4.

Статья подготовлена в соответствии с государственным заданием  
для ФГБУН Институт экономики УрО РАН

**Информация об авторе** \_\_\_\_\_ **Information about the author**

*Коровин Григорий Борисович*, канд. экон. наук, заведующий сектором экономических проблем отраслевых рынков, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт экономики Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия. Область научных интересов: промышленность, промышленная политика, цифровизация  
korovin.gb@uiec.ru

*Grigory Korovin*, candidate of economic sciences, head of the sector; Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; Yekaterinburg, Russia. Scientific interests: industry, industrial policy, digitalization

**Для цитирования** \_\_\_\_\_

*Коровин Г. Б. Возможности применения цифровых двойников в промышленности // Вестник Забайкальского государственного университета. 2021. Т. 27, № 8. С. 124–133. DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-8-124-133.*

*Korovin G. The Opportunities for Using Digital Twins in Industry // Transbaikal State University Journal, 2021, vol. 27, no. 8, pp. 124–133. DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-8-124-133.*

Статья поступила в редакцию: 29.09.2021 г.  
Статья принята к публикации: 06.10.2021 г.