Петербургский экономический журнал. 2023. № 1. С. 51–61
St Petersburg Economic Journal. 2023, no. 1, pp. 51–61

Научная статья
УДК 658.011.56(075.8)

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

SIMULATION OF BUSINESS PROCESSES FOR DIGITAL TWINS

Ирина Александровна БРУСАКОВА
доктор технических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), brusakovai@mail.ru

I. A. BRUSAKOVA
DSc (Technical), Full Professor, Saint Petersburg Electrotechnical University, brusakovai@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены основные подходы к имитационному моделированию процессов в рамках концепции Индустрия 4.0. Представлены особенности формирования наборов данных – data-sets (DS) для управления технической и социально-экономической подсистемами цифрового предприятия в ITSM-контексте. Цифровое предприятие рассматривается как киберфизическая система. Приведен обзор Iot-платформ управления технологическими процессами для создания цифровых двойников. В статье рассматривается имитационное моделирование как метод исследования, который позволяет создавать модели сложных систем и процессов для анализа их поведения в различных условиях. Автор обосновывает применение математических моделей, которые описывают свойства и параметры системы или процесса, а также на проведении компьютерных экспериментов с этими моделями. В статье продемонстрировано, что имитационное моделирование может использоваться для анализа и оптимизации различных систем и процессов, включая производственные, транспортные, финансовые, экологические и другие. Важно указать, что результат представленного исследования подтверждает возможность предсказывать поведение системы в различных условиях, определять ее уязвимости и находить оптимальные решения для ее улучшения. Примеры применения имитационного моделирования включают создание моделей для анализа трафика на дорогах, оптимизации производственных процессов, прогнозирования цен на финансовых рынках, моделирования экосистем.

Ключевые слова: цифровое предприятие, Индустрия 4.0, имитационное моделирование бизнес-процессов, цифровые двойники процессов ресурсного обеспечения, киберфизическая система

© Брусакова И. А., 2023

Abstract. The paper considers the main approaches to simulation modeling of processes within the framework of the Industry 4.0 concept. It is emphasized that the basis of successful digitalization is the identification of the necessary measuring information about the technical and socio-economic subsystems of the cyber-physical system. A digital enterprise as a cyber-physical system should be implemented on a single digital platform that integrates technologies for simulating digital twins of technical and socio-economic subsystems. The introduction of the ideas of information management will ensure the consolidation of the information resources of the enterprise and provide the necessary cognitive ability to make managerial decisions. The author substantiates the use of mathematical models, which describe the properties and parameters of the system or process, as well as on conducting computer experiments with these models. The article shows that simulation modeling can be used to analyze and optimize various systems and processes, including manufacturing, transportation, financial, environmental and others. It is important to point out that the result of the presented research proves the ability to predict the behavior of the system under different conditions, determine its vulnerability and find optimal solutions for its improvement. Examples of simulation applications include creating models for analyzing traffic on roads, optimizing production processes, forecasting prices on financial markets, and modeling ecosystems.

Keywords: digital enterprise, Industry 4.0, business process simulation, digital twins of resource provision processes, cyber-physical system

Введение

Современные тренды управления предприятием согласуются с движением общества к цифровизации, цифровым трансформациям предприятия. Особую сложность представляют проекты внедрения технологий управления многомерными данными, внедрения технологий визуализации управления данными, проекты организации сквозной интеграции данных, проекты построения цифровых образов процессов, проектов, объектов, внедрения технологий искусственного интеллекта. Цифровые технологии управления данными используются для эффективного управления принятием решений о деятельности предприятия. Разработка систем поддержки и принятия решений на базе BI-технологий, технологий искусственного интеллекта связана с мониторингом и управлением данными о бизнес-процессах предприятия. Требуется непрерывно улучшать существующие бизнес-процессы, проводить вовремя их оптимизацию. Технологии моделирования бизнес-процессов позволяют организовать движение от бизнес-процессов «как есть» к бизнес-процессам «как надо». Движение к оптимизации невозможно без инновационности предлагаемых проектов управления процессами. Инновационность проекта связана с получением качественно нового способа управления принятием решений. Принятие решений реализуется с использованием аналитических платформ, ИТ-сервисов, семантических слоев корпоративных информационных систем предприятия. Управленческий контент формируется в едином информационном пространстве инфокоммуникационной инфраструктуры предприятия в условиях принципов Индустрии 4.0. Управленческий контент должен содержать сведения об архитектуре предприятия, о модели условий трансформации бизнес-процессов, о критериях принятия управленческих решений, о показателях бизнес-процессов и т. д. [1].

В концепции Индустрия 4.0 современное предприятие рассматривают как киберфизическую систему (Cyber-Physical System – CPS) – систему, «состоящую из различных природных объектов, искусственных подсистем и

управляющих контроллеров, позволяющих представить такое образование как единое целое. В CPS обеспечивается тесная связь и координация между вычислительными и физическими ресурсами» [2, 3].

Методы исследования

Кибернетический подход к моделированию процессов управления сложными динамическими объектами предполагает максимально полное знание входной и выходной информации о бизнес-процессах. Объект исследования зачастую представляется как «серый» или «черный ящик». Отсутствуют сведения о математических моделях описания деятельности отдельных подразделений, моделях управления ресурсным обеспечением предприятия. При отсутствии сведений о функциональных преобразованиях используется метод имитационного моделирования процессов. Объектами исследования при управлении цифровым предприятием как киберфизической системой являются техническая и социально-экономическая подсистемы. Для управления цифровым предприятием необходимо располагать как моделями управления процессами в технической подсистеме, так и моделями управления социально-экономической подсистемой. Необходимо организовать параллельный инжиниринг ресурсов предприятия для процессного управления. Предварительным этапом имитационного моделирования процессов является аудит всех бизнес-процессов предприятия. Например, для организации цифровизации при ресурсном управлении требуется провести необходимую информатизацию и автоматизацию бизнес-процессов. Как только возникают задачи информатизации, возникают и задачи имитационного моделирования процессов [4].

При введении термина «моделирование» в научные исследования ранее руководствовались необходимостью описывать физические объекты, физические явления. Моделирование представляло собой решение сложных нелинейных задач математической физики либо с помощью итерационных схем, либо на основе использования метода Монте-Карло. Существует множество толкований основных определений таких понятий, как имитационная модель, компоненты и параметры модели, функциональные зависимости, ограничения, целевые функции моделирования. В дальнейшем мы будем пользоваться определениями, приведенными Р. Шенноном.

Имитационное моделирование можно рассматривать как элемент системного анализа, т. к. невозможно описать систему, не описав ее составляющие – части. Описание без заранее известных функциональных преобразований «вход-выход» возможно только на базе имитационного моделирования. Концепция общей теории систем и системного анализа впервые была сформулирована в 1950-е гг. Л. Берталанфи, а необходимость моделирования реальных объектов неоднократно подчеркивал Н. Винер при описании кибернетического подхода в управлении. Введенный термин «функциональные действия» при описании поведения объекта исследования трактовался как переход процесса от одного транзакта-события к другому.

Параметрами являются величины, которые исследователь может выбирать произвольно, в отличие от переменных модели, которые могут принимать только значения, определяемые видом данной функции. В модели системы будем различать переменные двух видов – экзогенные и эндогенные. Экзогенные переменные называются также входными. Это означает, что они порождаются вне системы или являются результатом взаимодействия внешних причин. Эндогенными переменными называются переменные, возникающие в системе в результате воздействия внутренних причин. В тех случаях, когда эндогенные переменные характеризуют состояние или условие, имеющее место в системе, назовем их переменными состояния. Когда же необходимо описать входы и выходы системы, мы имеем дело с входными и выходными переменными. Экзогенные переменные называются также входными. Это означает, что они порождаются вне системы или являются результатом взаимодействия внешних причин. Эндогенными переменными называются переменные, возникающие в системе в результате воздействия внутренних причин. В тех случаях, когда эндогенные переменные характеризуют состояние или условие, имеющее место в системе, назовем их переменными состояния.

Когда же необходимо описать входы и выходы системы, мы имеем дело с входными и выходными переменными. Ограничения представляют собой устанавливаемые пределы изменения значений переменных или ограничивающие условия их изменений. Они могут вводиться либо разработчиком, либо устанавливаться самой системой вследствие присущих ей свойств.

Целевая функция (функция критерия) представляет собой точное отображение целей или задач системы и необходимых правил оценки их выполнения. Выражение для целевой функции должно быть однозначным определением целей и задач, с которыми должны соизмеряться принимаемые решения.

В [4] приведена одна из классификаций видов моделирования:

– концептуальное;
– физическое;
– структурно-функциональное;
– математическое;
– имитационное;
– компьютерное.

Так, концептуальное моделирование позволяет, например, описать модель предприятия в виде некоторых специальных знаков, символов, операций над ними или с помощью естественного или искусственного языка. Использование концептуального моделирования можно связать с формализацией бизнес-модели предприятия.

Физическое моделирование позволяет описать модель и моделируемый объект на базе соотношения подобия между процессами в объекте-оригинале и в модели, вытекающими из схожести физических явлений. Так, например, моделируются статические функции преобразования для тензометрических и термометрических датчиков. Физическое моделирование применяется для описания процессов управления техническими подсистемами предприятия.

В структурно-функциональном моделировании моделями являются схемы (блок-схемы), графики, чертежи, диаграммы, таблицы, рисунки, дополненные специальными правилами их объединения и преобразования.

В математическом (логико-математическом) моделировании построение моделей осуществляется средствами математики и логики.

В имитационном моделировании логико-математическая модель исследуемого объекта представляет собой алгоритм функционирования объекта, реализованный в виде программного комплекса для компьютера.

С компьютерным моделированием связывают методы решения задачи анализа или синтеза сложной системы на основе использования ее компьютерной модели.

Приведенная классификация весьма условна, так как во всех случаях требуется использовать инструментальные средства для описания и управления информацией об объекте.

Существуют различные способы организации квазипараллелизма в бизнес-системах [4, 5]:

– с использованием транзактно-событийного способа;
– с использованием активностей, агрегатов, систем расписания;
– с использованием агентного моделирования.

Так, для транзактно-событийного способа имитационного моделирования характерно описание бизнес-процессов по шагам преобразования входной информации в выходную. С каждым транзактом-событием связываются моменты времени «обслуживания» транзакта и промежутки времени между транзактами: выделение наиболее существенных временных характеристик, описывающих события бизнес-процесса; время обслуживания одного события; промежуток времени между обслуживанием предыдущего и последующих событий. Чтобы обеспечить имитацию параллельных событий реальной системы, вводят некоторую глобальную переменную, которую называют модельным (системным) временем. С помощью этой переменной организуется синхронизация всех событий в модели и выполнение алгоритмов компонент модели системы.

При реализации транзактно-событийного подхода используются обычно три представления времени:

– реальное время системы, работа которой имитируется;
– модельное время, по которому организуется синхронизация событий в системе;

– машинное время имитации, отражающее затраты ресурса времени ЭВМ на организацию имитации.

После каждой реализации, обеспечивающей выполнение определенного транзакта бизнес-процесса, выполняется оператор корректировки временной координаты. Существует два способа изменения модельного времени: с помощью фиксированных и переменных интервалов изменения модельного времени. Фиксированное изменение модельного времени реализуется в случае полного совпадения времени наступления однотипных событий бизнес-процессов различных структурных подразделений. Переменный интервал изменения модельного времени характеризуется переменным шагом обслуживания и связывается с адаптивным управлением.

Все подходы к транзактно-событийному моделированию хорошо описываются с использованием теории и методов систем массового обслуживания (СМО). Для формирования структурного анализа необходимо описать возможные состояния (события) бизнес-системы, бизнес-процессов в различные моменты времени для всего времени функционирования.

Для СМО используется понятие «поток событий» как последовательное многократное появление одного и того же события в различные моменты времени. Система массового обслуживания – это система особого вида, функционирование которой заключается в последовательном выполнении некоторых операций по мере поступления в эту систему случайного потока соответствующих воздействий. Эти воздействия называются транзактами, заявками или требованиями.

Транзакция – это процесс, связанный с изменениями в одной или нескольких базах данных, которые не должны выполняться частично. Если в ходе выполнения процесса изменения не могут быть внесены в полном объеме из-за сбоя оборудования или каких-то других причин, то базы данных должны быть возвращены в исходное состояние. Всякое промежуточное состояние баз данных будет противоречивым. Количеством транзакций в единицу времени часто измеряют производительность банковских и других подобных систем.

Таким образом, при имитационном моделировании СМО необходимо:

– отобразить программно структуру сложного объекта и последовательность этапов обслуживания транзактов;

– создать последовательность случайных чисел, имитирующих входные потоки транзактов на обслуживание, времена обслуживания с необходимыми законами распределения;

– реализовать процедуру статистических испытаний;

– организовать продвижение потоков транзактов по модели, имитировать процессы обслуживания заявок;

– провести обработку статистических данных.

К показателям эффективности такого вида моделирования можно отнести:

– среднее время ожидания заявки в очереди;

– среднее время обслуживания одной заявки;

– среднее время пребывания заявки в СМО;

– вероятность отказа заявке в обслуживании без очереди;

– вероятность того, что поступившая заявка немедленно будет принята к обслуживанию;

– закон распределения времени ожидания заявки в очереди;

– закон распределения времени пребывания заявки в СМО;

– среднее число заявок, находящихся в очереди;

– среднее число заявок, находящихся в СМО, и т. п.

В случае организации квазипараллелизма управления бизнес-процессами с использованием так называемых активностей надо сначала оценить целесообразность такого подхода. Его целесообразно применять в тех случаях, когда все функциональные действия компонент реальной бизнес-системы различны, т. е. для выполнения каждого функционального действия требуются свои условия. Примером может явиться имитационное моделирование поведения нескольких подразделений одной и той же корпорации. Так, события и времена наступления для подразделения бухучета не совпадают по функциональным действиям подразделений производств, склада, транс-

портной логистики. Все функциональные действия независимы друг от друга. События связаны с изменением состояния системы и её объектов. События обеспечивают прерывистость процесса. Процесс представляется из набора активностей и пассивностей. Начало каждой активности связано с возникновением события в системе.

Для организации процесса моделирования с использованием активностей необходимо определить:

– что является выходной информацией;

– момент начала и окончания моделирования;

– активности, используемые при моделировании бизнес-процесса;

– измерительную шкалу, в которой измеряется активность;

– людей в корпорации, которые определяют размер активности;

– документы, определяющие величину изменения активности (управление изменениями).

Агрегатное имитационное моделирование применяется в тех случаях, когда можно обеспечить принцип агрегирования. Модель объекта представляется агрегатами (подсистемами), которые пригодны для описания стандартными математическими схемами.

Агентное имитационное моделирование можно связать с описанием поведенческой модели, сценария реализации бизнес-процесса. Агент – отдельно специфицируемая активная подсистема. Агенты действуют независимо друг от друга, могут взаимодействовать с другими агентами и внешней средой, могут изменять свое поведение.

Агент – это некоторая сущность, которая обладает активностью, автономным поведением, может принимать решения в соответствии с некоторым набором правил, взаимодействовать с окружением и другими агентами, а также изменяться (эволюционировать, адаптироваться). Агентное моделирование не имеет сложившегося набора стандартных функций и процедур для разработки моделей. Для представления модели может быть использован язык UML. Это язык визуального (графического) моделирования, в том числе и объектно-ориентированных систем, поддерживает возможность не только моделировать непосредственно самих агентов системы, но и описывать внутренние связи. Язык UML включает в себя ряд четко структурированных типов диаграмм и графических элементов, призванных различными способами представить модель. Модели, построенные при помощи языка UML, имеют высокий уровень абстракции и независимы от языка конкретной реализации объектно-ориентированной модели.

Все подходы к имитационному моделированию используются как предварительная стадия проектов по стратегическому анализу и прогнозу предприятия, анализа и оценки его текущего состояния. Таким образом, формирование управленческого контента в парадигме Индустрия 4.0 невозможно без предварительной стадии информационного моделирования бизнес-системы, бизнес-модели, бизнес-процессов. Формирование управленческого контента позволяет повысить цифровую зрелость решений, перейти от автоматизации и информатизации бизнес-процессов к накоплению корпоративных знаний, предиктивной аналитики. Поддерживающими управленческие решения технологиями являются в том числе и технологии цифровых двойников, искусственного интеллекта.

Технологии цифровых двойников – комплексный подход к созданию информационного многомерного образа процесса, объекта [6, 7].

Стивен Вольфрам в своей книге «Новый вид науки» дал оценку компьютерному эксперименту: «По моему опыту лучший шанс открытия нового явления с помощью компьютерного эксперимента – это организовать эксперимент максимально просто. Обычно намного лучше искать новое в огромном наборе вариантов, чем пытаться уменьшить число вариантов согласно логике и упустить самое интересное» [8].

Эпоха цифровых трансформаций в управлении процессами цифровых предприятий характеризуется использованием в процессе управления цифровых технологий приобретения, извлечения, обработки, интерпретации необходимой измерительной информации. Измерительная информация цифрового пред-

приятия как киберфизической системы должна содержать необходимые сведения для управления технической и социально-экономической подсистемами. Внедрение технологий создания цифровых двойников при управлении киберфизическими системами позволит гибко управлять процессами принятия решений. К технологиям создания цифровых двойников процессов можно с уверенностью отнести приемы описания измерительной экономической информации, приведенные в [4, 5]. Так, например, цифровизация социально-экономической информации заключается в применении цифровых технологий для выявления объектов, свойств, множества значений, взаимосвязей при информационном моделировании бизнес-процессов. В обучающем онлайн-курсе «Практика цифровых трансформаций» [5] представлена методика цифровизации для различных бизнес-процессов цифрового предприятия: финансовых, социальных, информационных, логистических, производственных, денежных и т. д. Эти методики используют инструментальные средства описания бизнес-процессов от инфологической модели до датологической и инструментальные средства имитационного моделирования. Цифровые технологии имитационного моделирования (агентного, транзактно-событийного, агрегатного и т. д.) позволяют создавать цифровых двойников предприятия. Все эти задачи решаются в концепции информационного менеджмента процессов в рамках Индустрии 4.0.

Информационный менеджмент представляется как совокупность действий по информатизации управления информационными системами, информационными ресурсами и инфокоммуникационной инфраструктурой предприятия. Имитационное моделирование бизнес-процессов позволяет организовать базы знаний информационных ресурсов предприятия. Цель информационного менеджмента – информационная поддержка выработки управленческих решений. Измерительная информация представляется совокупностью сведений о бизнес-процессах предприятия: их свойствах, значениях свойств, взаимосвязях.

Управленческое решение – необходимый состав корпоративных знаний для оценки эффективности деятельности предприятия. Предлагается представлять управленческое решение как взаимосвязанную совокупность показателей эффективности управления информационными ресурсами, информационными системами и инфокоммуникационной инфраструктуры [1].

Результаты и дискуссия

Архитектура цифрового предприятия представляется как многомерная процессно-ориентированная модель, реализованная на базе стандарта ISO/IEC/IEEE 4210 на базе согласования интересов стейкхолдеров, интегрированная в инфокоммуникационную инфраструктуру информационной системы предприятия.

Перечислим основные цифровые технологии и инструменты информационного менеджмента инфокоммуникационной инфраструктуры социально-экономической подсистемы, позволяющие внедрять технологии цифровых двойников и искусственного интеллекта [1]:

– ERP (Enterprise Resource Planning) – корпоративная информационная система (КИС) управления ресурсами предприятия;

– MES (Manufacturing Execution Systems) – производственная система;

– SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) – система автоматизации управления данными о предметной области;

– PLM (Product Life-cycle Management) – прикладное программное обеспечение для управления жизненным циклом продукции, интегрированное в определенную ИТ-инфраструктуру, технологическую платформу;

– CAD (Computer Aided Desire) – системы конструкторского проектирования, технологии автоматизации производства при проектировании технических устройств программно-аппаратной части КИС;

– CAE (Computer Aided Engeneering) – технологии расчетов и инженерного анализа;

– CAM (Computer Aided Manufacturing) – системы технологической подготовки производства;

– PDM (Product Data Management) – системы управления проектными данными;

– BPM (Business Perfomance Management) – это новая категория продуктов, позволяющая

использовать знакомые корпорации приложения (системы контроллинга, финансового анализа, логистику и т. д.), сопровождаемые ключевыми показателями эффективности (KPI);

– Technologies of business processes modeling (технологии бизнес-моделирования) как инструменты получения экономических измерений в контуре КИС: SADT, UML, DFD, CASE, PAD и поддерживающие их информационные технологии ARIS, ARENA, Rational Rose и т. д.;

– Technologies knowledge storage and interpretator acquisition – технологии хранения и управления знаниями;

– GRID, SMART, CLOUD, DW – хранилище данных (HANA – передовая технология хранения и управления данными фирмы SAP);

– SMART (Specific Measurable Attainable Relevant Time-Bound) – инструмент для постановки целей.

Имитационное моделирование бизнес-процессов цифрового предприятия позволяет сформировать цифровой двойник предприятия.

Цифровое предприятие (Digital Enterprise) – организация, которая использует информационные технологии в качестве конкурентного преимущества во всех сферах своей деятельности: производстве, бизнес-процессах, маркетинге и взаимодействии с клиентами [7–10]. В [10] приведены примеры внедрения технологий цифровых двойников и определения для технологий цифровых двойников, которые связывают такие технологии с передовыми на границе материального и цифрового миров.

На рисунке приведены основные определения цифровых двойников.

Примером успешного инструментального средства для агентного, транзактно-дискретно-событийного методов, методов системной динамики для имитационного моделирования являются продукты компании AnyLogic [10]. Компания NFP – официальный партнер ведущего международного вендора по имитационному моделированию – AnyLogic Company. Программы вендора представлены двумя основными продуктами: AnyLogic и anylogistix. AnyLogistix – программная платформа для проектирования, оптимизации и анализа цепи поставок. Совмещает традици-

Определения цифровых двойников
Definitions of digital doubles

онные аналитические методы оптимизации и инновационные технологии имитационного моделирования, позволяя комплексно анализировать цепь поставок [10].

Использование имитационного моделирования позволяет более точно управлять рисками в цепи поставок и добавлять в проект сложные объекты, такие как склады с детализацией до каждого сотрудника и каждой единицы техники, тестировать любые изменения в цепи. Цифровой двойник – это виртуальный аналог реального объекта, основанный на применении интернета вещей. Цифровой двойник создается для зданий, сооружений, производств и предприятий сельского хозяйства. Цифровой двойник (Digital Twin) – это виртуальная интерактивная копия реального физического объекта или процесса, которая помогает эффективно управлять им, оптимизируя бизнес-операции [7]. Некоторые эксперты выделяют три типа двойников: цифровые двойники-прототипы (Digital Twin Prototype – DTP), цифровые двойники-экземпляры (Digital Twin Instance – DTI) и агрегированные двойники (Digital Twin Aggregate – DTA) [7].

Заключение

Приведены основные подходы к имитационному моделированию процессов в рамках концепции Индустрия 4.0. Подчеркивается, что основой успешной цифровизации является выявление необходимой измерительной информации о технической и социально-экономической подсистемах киберфизической системы. Цифровое предприятие как киберфизическая система должно быть реализовано на единой цифровой платформе [11–14], интегрирующей технологии имитации цифровых двойников технической и социально-экономической подсистем [15, 16]. Внедрение идей информационного менеджмента позволит обеспечить консолидацию информационных ресурсов предприятия и обеспечить необходимую когнитивность принятия управленческих решений.

Список источников

1. Теоретическая инноватика / под ред. И. А. Брусаковой. М.: Юрайт, 2019. 333 с.
2. Gerhard Oswald, Helmut Krcmar (Hrsg.) Digitale Transformation. Springer. Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen National bibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet. URL: http://dnb.d-nb.de abrufbar (дата обращения: 06.06.2022).
3. Nikolaos S. Voros, Christos P. Antonopoulos Editors Cyberphysical Systems for Epilepsy and Related Brain Disorders Multi-parametric Monitoring and Analysis for Diagnosis and Optimal Disease Management. Cham, Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer, 2015.
4. Брусакова И. А. Имитационное моделирование экономических процессов. СПб.: СПбГЭУ, 2021. 330 с.
5. Практики цифровой трансформации. URL: https://ru.coursera.org/learn/pracdig (дата обращения: 06.06.2022).
6. Питер Вайль, Ворнер С. Цифровая трансформация бизнеса. Изменение бизнес-модели для организации нового поколения. М.: Альпина Паблишер, 2019. 258 с.
7. Digital Twin of organization, DTO. URL: http://www.tadviser.ru/index.php (дата обращения: 06.06.2022).
8. Стивен Вольфрам. Новый вид науки – A New Kind of Science. URL: https://www.wolframscience.com/nks/
9. Прохоров А., Лысачев М. Цифровой двойник. URL: https://digitalatom.ru/digital-twin-book (дата обращения: 06.06.2022).
10. AnyLogic программный продукт. URL: https://www.anylogic.ru/ (дата обращения: 06.06.2022).

11. Стельмашонок Е. В., Стельмашонок В. Л. Методические аспекты моделирования системы защиты информации в организации // Петербургский экономический журн. 2019. № 2. С. 64–70
12. Ворона А. А., Кузминых Ю. В. Практика применения цифровой торговой платформы как основа развития внешнеторговой деятельности // Петербургский экономический журн. 2020. № 3. С. 48–55.
13. Афонькин А. Ю., Ноздрина Н. А. Перспективы развития технологии блокчейн в ближайшем будущем // Научные тенденции: вопр. точных и технических наук: сб. науч. тр. по материалам XVI Междунар. науч. конф. 2018. С. 20–21.
14. Денисова Н. А., Наливайко Ю. А. Использование технологии блокчейн для повышения уровня безопасности центра электронного декларирования и КПС «Портал морской порт» на примере морских портов СЗТУ // Бюллетень инновационных технологий. 2019. Т. 3, № 2 (10). С. 11–14.
15. Okrepilov V., Kuzmina S., Kuznetsov S. Tools of Quality economics: sustainable development of a ‘smart city’ under conditions of digital transformations of the economy International Scientific Conference ‘Digital Transformation on Manufacturing, Infrastructure and Service’ IOP Conf. Ser.: Materials Science and Engineering 497 (2019) 012134 IOP Publishing. DOI: 10.1088/1757-899X/497/1/012134IOP. Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 497 012134. URL: https://doi.org/10.1088/1757-899X/497/1/012134
16. Окрепилов В. В., Иванова Г. Н., Чудиновских И. В. Цифровая экономика: проблемы и перспективы // Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития. 2018. № 3–4 (56–57). С. 4–6.

References

1. Theoretical innovation. Ed. I. A. Brusakova. M., Publishing house Yurayt, 2019, 333 p.
2. Gerhard Oswald Helmut Krcmar (Hrsg.) Digitale Transformation. Springer. Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publication in der Deutsche National bibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet. URL: http://dnb.d-nb.de abrufbar (accessed: 06.06.2022).
3. Nikolaos S. Voros, Christos P. Antonopoulos Editors Cyberphysical Systems for Epilepsy and Related Brain Disorders Multi-parametric Monitoring and Analysis for Diagnosis and Optimal Disease Management. Cham, Heidelberg, New York, Dordrecht, London, Springer, 2015.
4. Brusakova I. A. Simulation modeling of economic processes. St Petersburg, SPbGEU, 2021, 330 p.
5. Digital Transformation Practices. URL: https://ru.coursera.org/learn/pracdig (accessed: 06.06.2022).
6. Peter Weil, Warner S. Digital business transformation. Changing the business model for a new generation organization. M., Alpina Publisher, 2019, 258 p.
7. Digital Twin of organization, DTO. URL: http://www.tadviser.ru/index.php (accessed: 06.06.2022).
8. Stephen Wolfram. A New Kind of Science. URL: https://www.wolframscience.com/nks/ (accessed: 06.06.2022)
9. Prohorov A., Lysachov M. Digital Twin. URL: https://digitalatom.ru/digital-twin-book (accessed: 06.06.2022).
10. AnyLogic software tool. URL: https://www.anylogic.ru/ (accessed: 06.06.2022).
11. Stel'mashonok E. V., Stel'mashonok V. L. Methodological aspects of modeling the information security system in an organization. Peterburgskij ekonomicheskij zhurnal. 2019, no. 2, pp. 64–70.

12. Vorona A. A., Kuzminyh Yu. V. The practice of using a digital trading platform as a basis for the development of foreign trade activities. Peterburgskij ekonomicheskij zhurnal. 2020, no. 3, pp. 48–55.
13. Afon'kin A. Yu., Nozdrina N. A. Prospects for the development of blockchain technology in the near future. Scientific trends: Issues of exact and technical sciences: a collection of scientific papers based on the materials of the XVI International Scientific Conference. 2018, pp. 20–21.
14. Denisova N. A., Nalivajko Yu. A. The use of blockchain technology to increase the security level of the electronic declaration center and the KPS «Seaport Portal» on the example of the seaports of NWTU. Bulletin of Innovative technologies. 2019, vol. 3, no. 2 (10), pp. 11–14.
15. Okrepilov V., Kuzmina S., Kuznetsov S. Tools of Quality economics: sustainable development of a 'smart city' under conditions of digital transformations of the economy International Scientific Conference 'Digital Transformation on Manufacturing, Infrastructure and Service' IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 497 (2019) 012134 IOP Publishing. DOI: 10.1088/1757-899X/497/1/012134IOP. Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 497 012134. URL: https://doi.org/10.1088/1757-899X/497/1/012134
16. Okrepilov V. V., Ivanova G. N., Chudinovskih I. V. Digital economy: problems and prospects. Ekonomika Severo-Zapada: problemy i perspektivy razvitiya. 2018, no. 3–4 (56–57), pp. 4–6.

Статья поступила в редакцию 18.02.2023 г., принята к публикации после рецензирования 27.03.2023 г., опубликована онлайн 30.03.2023 г.
The article was submitted on 18.02.2023, accepted for publication after reviewing on 27.03.2023, published online on 30.03.2023.