Государственное и муниципальное управление. Ученые записки. 2025. № 4. С. 298–306
State and Municipal Management. Scholar Notes. 2025;(4):298–306

Научная статья
УДК. 378.14
EDN JSRGLG

Цифровой двойник университета как инструмент предиктивного анализа и оптимизации образовательных и научных процессов

Валерий Евгеньевич Ляшенко

Санкт-Петербургский университет технологий управления и экономики, Санкт-Петербург, Россия, vallys2012@yandex.ru

Аннотация

Введение. Уровень развития современной экономики и всей социально-экономической сферы предъявляет повышенные требования к эффективности университетов. Вопросы применения цифровых двойников в университетах и других организациях высшего образования считаются достаточно слабо изученными методологически и имеет низкую частоту применения на практике. Это обуславливает актуальность проведения исследований в этом направлении с целью разработки прототипов цифровых двойников, направленных на решение целого спектра задач по повышению стратегической и операционной эффективности университетов нового поколения.

Цель. Разработка концептуальной модели цифрового двойника в контуре системы управления университетом.

Методы. Для решения задач исследования использовались общенаучные и эмпирические методы экономического исследования: экономическое наблюдение, методы системного анализа, экспертных оценок, сценарного подхода. Теоретико-методологической базой послужили исследования в области имитационного моделирования и построения цифровых двойников.

Результаты и выводы. Предложена авторская концептуальная модель цифрового двойника в контуре системы управления университетом, разработана классификация функциональных возможностей цифрового двойника университета. Ключевыми особенностями предлагаемой концепции являются: распределение функционала цифрового двойника по уровням – стратегическому, операционному и ресурсному, в целях применения различных механизмов имитационного моделирования в каждом из компонент для достижения наилучшего результата; использование инструментария искусственного интеллекта для автоматизации процесса принятия управленческих решений; возможность автоматического самообучения имитационных моделей в составе цифрового двойника.

Описанные в настоящей статье методологические предложения могут быть использованы для перспективного практического прототипирования цифрового двойника университета за счет: распределения функционала цифрового двойника по уровням – стратегическому, операционному и ресурсному, в целях применения различных механизмов имитационного моделирования в каждом из компонент для достижения наилучшего результата; использования инструментария искусственного интеллекта для автоматизации процесса принятия управленческих решений; возможности автоматического самообучения имитационных моделей в составе цифрового двойника и наличия механизмов совершенствования всей системы цифрового двойника университета.

Ключевые слова: цифровой двойник, университет 4.0, имитационное моделирование, предиктивный анализ, оптимизация процессов, сценарный стратегический анализ, цифровая трансформация

Для цитирования: Ляшенко В. Е. Цифровой двойник университета как инструмент предиктивного анализа и оптимизации образовательных и научных процессов // Государственное и муниципальное управление. Ученые записки. 2025. № 4. С. 298–306. EDN JSRGLG

© Ляшенко В. Е., 2025

Original article

A digital twin of a university as a tool for predictive analysis and optimization of educational and scientific processes

Valery E. Lyashenko

Saint-Petersburg University of Management Technologies and Economics, Saint-Petersburg, Russia, vallys2012@yandex.ru

Abstract

Introduction. The level of development of the modern economy and the entire socio-economic sphere places increased demands on the effectiveness of universities. The issues of using digital twins in universities and other higher education institutions are considered to be rather poorly studied methodologically and have a low frequency of application in practice. This makes it important to conduct research in this area in order to develop digital twin prototypes aimed at solving a wide range of tasks to improve the strategic and operational efficiency of new generation universities.

Purpose. Development of a conceptual model of a digital twin in the contour of the university management system.

Methods. To address the research objectives, general scientific and empirical methods of economic research were used: economic observation, systems analysis, expert assessments, and a scenario approach. Research in the field of simulation modeling and digital twin construction served as the theoretical and methodological basis.

Results and conclusions. The author's conceptual model of a digital twin in the contour of the university management system is proposed, and a classification of the university's digital twin functionality is developed. The key features of the proposed concept are: the distribution of the digital twin's functionality by levels – strategic, operational and resource, in order to apply various simulation mechanisms in each component to achieve the best result.; the use of artificial intelligence tools to automate the management decision-making process; the possibility of automatic self-learning of simulation models as part of a digital twin.

The methodological proposals described in this article can be used for promising practical prototyping of the university's digital twin by: distributing the functionality of the digital twin at levels – strategic, operational and resource, in order to apply various simulation modeling mechanisms in each component to achieve the best result; using artificial intelligence tools to automate the management decision-making process.; the possibilities of automatic self-learning of simulation models as part of a digital twin and the availability of mechanisms for improving the entire university's digital twin system.

Keywords: digital twin, university 4.0, simulation modeling, predictive analysis, process optimization, scenario strategic analysis, digital transformation

For citation: Lyashenko V. E. A digital twin of a university as a tool for predictive analysis and optimization of educational and scientific processes. *State and Municipal Management. Scholar Notes.* 2025;(4):298–306. (In Russ.). EDN JSRGLG

Введение

Развитие современной экономики, обусловленное сменой технологического уклада и переходом к модели Индустрия 4.0, предъявляет повышенные требования к качеству высшего образования и особенностям функционирования современного университета. Быстро меняющаяся внешняя среда, многоэтапные процессы цифровой трансформации обуславливают необходимость совершенствования подхода к формированию компетенций выпускников университетов. Необходимыми, уже в составе hard sills, становятся не только отличное знание предметной области и общей методологии исследования, но и высокая адаптивность, способность к самообучению, творческая самореализация и высокий аппетит к инновациям. Модель Университета 4.0 характеризуется сменой целевой ориентации на создание ценности для общества, основанной на организации визионерского образования, ориентированного на вызовы, исследования и инновации, для реализации которой необходимо создание полноценных экосистем инновационного типа, базирующихся на передовых цифровых технологиях и технологиях искусственного интеллекта (ИИ) [1].

Среди современных информационных технологий одним из перспективных инструментов предиктивного анализа, сценарного планирования развития стратегии и оптимизации процессов университета являются технологии цифрового двойника, базирующегося на моделях имитационного моделирования. Технология цифровых двойников получила достаточно бурное развитие и диффузию прежде всего для промышленных предприятий, отрасли энергетики и других предприятий реального сектора экономики. Технологии компьютерной поддержки моделирования, анализа технологической подготовки производства, инструменты отслеживания технического состояния оборудования, модели физических объектов широко применялись в промышленности задолго до появления концепции цифрового двойника, особенностью которой стало информационное объединение «реального» и «виртуального» пространств[1]. Ключевыми характеристиками современного этапа развития технологии цифрового двойника являются использование средств интеграции разрозненных компонентов в единой информационной модели, возможность обработки больших данных, появление имитационных, предиктивных, аналитических возможностей в цифровых двойниках.

Вопросы применения цифровых двойников в университетах и других организациях высшего образования считаются достаточно слабо изученными методологически и имеет низкую частоту применения на практике. Это обуславливает актуальность проведения исследований в этом направлении с целью разработки прототипов цифровых двойников, направленных на решение целого спектра задач по повышению стратегической и операционной эффективности университетов нового поколения.

Материалы и методы

Исследование Research and Markets утверждает, что создание цифрового двойника вскоре станет стандартной процедурой для производства: 92 % специалистов считают, что продуктам необходим интерфейс для подключения к цифровым двойникам, 36 % видят преимущества цифровых двойников, а 53% из них планируют использовать цифровые двойники в своей деятельности к 2028 году[2]. PwC, основываясь на опросе 2018 г., выявила, что 60% компаний реализуют или планируют проекты по внедрению цифровых двойников[3]. Опрос российских компаний подтверждает важность технологии цифровых двойников для достижения технологического лидерства – на основании мнений 52% респондентов [2].

Существует несколько определений цифрового двойника. А. Саддик под цифровым двойником понимает цифровую копию живого или неодушевлённого физического объекта, позволяющую виртуальному объекту существовать одновременно с физическим объектом [3]. С. Чжуан считает, что цифровой двойник это «цифровая динамическая модель в виртуальном мире, полностью соответствующая своему физическому объекту в реальном мире, с возможностью моделирования его характеристик, поведения и производительности» [4]. Р. Розен с коллегами предлагают процессное определение цифрового двойникам, понимая под ним моделирование производственной системы на основе определенных правил в рамках прогнозирования и планирования производства [5]. И. Грэсслер под цифровым двойником понимает точную виртуальную копию физической системы, которая отражает всю её функциональность или является элементом киберфизической системы и предоставляет данные о производственной системе сотрудникам [6]. Делойт дают развернутое определение, предлагая рассматривать цифровой двойник в качестве обучаемой система, разработанной для создания продукции и отражения всех производственных дефектов, имеющей интеллектуальные функции управления[4].

---

[1] Grand View Research. Digital twin market size, share & trends analysis report by end-use (automotive & transport, retail & consumer goods, agriculture, manufacturing, energy & utilities), by region, and segment forecasts, 2021–2028. 2021. [Электронный ресурс] URL: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/digital-twin-market. (дата обращения 22.10.2025).

[2] Research and Markets. The future of the digital twins industry to 2025 in manufacturing, smart cities, automotive, healthcare and transport. 2020. [Электронный ресурс] URL: https://www.prnewswire.com/news-releases/the-future-of-the-digital-twins-industry-to-2025-in-manufacturing-smart-cities-automotive-healthcare-and-transport-301028858.html. (дата обращения 22.10.2025).

[3] Digital champions. PwC review. [Электронный ресурс] URL:https://www.pwc.ru/ru/iot/digital-champions.pdf (дата обращения 22.10.2025).

[4] Deloitte Insight. From manufacturing to medicine: How digital twins can unlock new industry advantages. [Электронный ресурс] URL: https://www.deloitte.com/us/en/insights/topics/business-strategy-growth/digital-twin-strategy.html (дата обращения 22.10.2025).

Изначально технология цифровых двойников реализовывалась средствами CAD/CAM/CAE систем, используя надстройки и функционал, позволяющий на первом этапе создавать цифровые двойники продуктов. Ключевой методологией для развития технологий проектирования цифровых двойников послужила концепция жизненного цикла продукта – на рисунке 1 представлено распределение инструментальных средств поддержки бизнес-процессов, используемых при проектировании цифровых двойников на всех этапах жизненного цикла продукта. Цифровой двойник продукта направлен на поддержку оперативной разработки изделия, позволяя варьировать различные характеристики и параметры изделия в виртуальном пространстве без изготовления физических образцов для каждого варианта.

Технологии имитационного моделирования и инструментальные средства их поддержки были усовершенствованы, появились отдельные среды разработки имитационных моделей (например, Arena), интегрированные с инструментарием разработки бизнес-процессов и появилась возможность моделирования цифровых двойников процесса – прежде всего технологических процессов, литья, сварки, обработки и т.д. В этом случае моделируются поведение процесса на основе анализа работы датчиков оборудования, оценки различных вариантов режимов работы технологических линий, оптимизации конфигурации оборудования и скорости технологического процесса. С появлением современных средств поддержки имитационного моделирования уровня Anylogic, стало возможным создание цифровых двойников систем – виртуальных моделей, описывающие функционирование целого предприятия. Этот тип моделей цифрового двойника наиболее сложный, он предполагает обработку колоссального объема данных для предсказания многофакторного поведения системы в виртуальном пространстве.

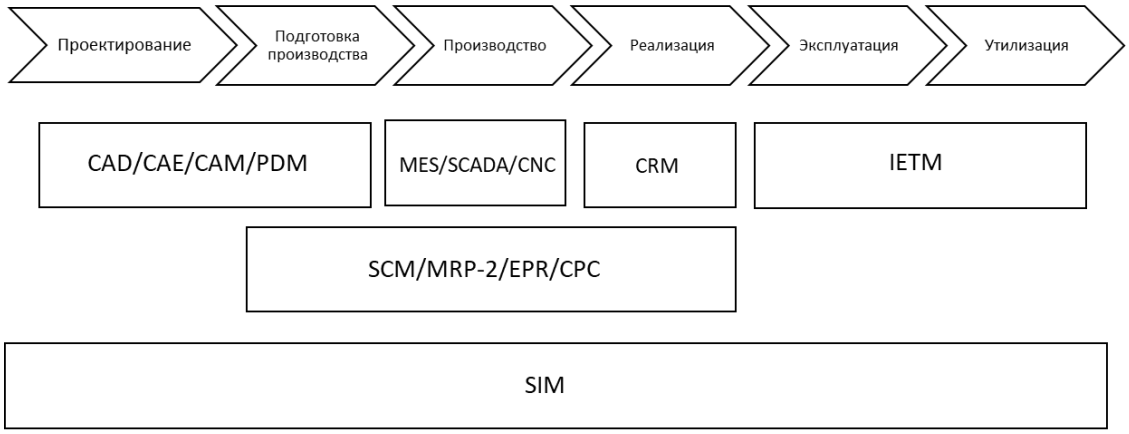


Рис. 1. Инструментальные средства разработки цифрового двойника в контексте жизненного цикла продукта. Источник: составлено автором

Fig. 1. Digital twin development tools within the product lifecycle context. Source: compiled by the author

Инструментальные средства разработки цифрового двойника университета включают значительный набор программного обеспечения разного функционала. Материальная база университета, включающая здания, сооружения, разнообразное оборудование оцифровывается средствами CAD/CAE системе (AutoCAD, SolidWorks и др.) и системами BIM-моделирования (Revit, Renga, nanoCAD и др.), позволяя создать цифровую модель активов с актуализацией их эксплуатационного статуса. ERP-системы (1С: ERP, Галактика, Парус) добавляют информацию об операционных процессах через данный оперучета и регламентированного учета, обеспечивая в конечном счете глубокую оцифровку финансово-экономических процессов. Детальное расширение операционных процессов позволяют обеспечить CRM-системы (Bitrix24, amoCRM, Мегаплан), оцифровывая коммуникации с абитуриентами и студентами, а оптимизация потоков студентов, эффективное распределение учебных планов и ресурсное планирование может быть реализовано специализированным ПО для имитационного моделирования (Anylogyc, Arena, Simulink). Таким образом, цифровой двойник университета накапливает и актуализирует информацию в целях дальнейшего предиктивного анализа, обеспечивая структурированный доступ к ней и верификацию занесенных данных.

За исследованиями в области создания цифровых двойников производственных систем последовали разработки, направленные на автоматизацию управления социальными системами. В основе концепции лежит включение виртуального образа социальной системы в систему производства и управления в виде математической модели или цифрового двойника организации [7; 8; 9; 10]. Одно из основных предназначений цифрового двойника такого типа — повышение точности управления.

Социальная система представляет собой динамическую активную систему, движущуюся в динамической активной среде. То есть система и среда не имеют стационарных состояний, они постоянно меняются, а активность агентов создает неопределенность в динамических характеристиках значений отдельных параметров (фазовых переменных), устранить которую принципиально невозможно. В результате для устойчивого функционирования принципиально необходимы управляющие воздействия, обеспечивающие адаптацию системы к постоянно меняющимся условиям.

Одной из важнейших задач организации точного управления социальными системами является расчет траектории ее движения в социально-экономическом пространстве, обеспечивающей сохранение функциональной устойчивости системы и достижение целевого состояния, соответствующего целям ключевых участников этой системы. Наличие такой траектории является принципиальным условием возможности точного управления социальной системой, что, в свою очередь, необходимо для реализации автоматизированных систем управления предприятием. Такие системы могут быть как «активным советником» лица, принимающего решения [11], так и субъектом управления при наличии необходимых данных и правовых оснований. Для этого они должны позволять рассчитывать динамику социальной системы в социально-экономической среде с учетом ожидаемых управляющих воздействий субъектов управления и возмущающих влияний внешней среды, в том числе и институционального характера.

Механизм имитационного моделирования направлен на итеративное многопараметрическое сценарное моделирование результатов работы бизнес-процессов университета, позволяющее установить корреляционные связи между факторами воздействия на систему управления бизнес-процессами и результатами цикла отработки этих бизнес-процессов. Результаты симуляции позволяют оперативно осуществлять поддержку принятия решений по выбору стратегии развития университета, оценивать ресурсные и временные затраты, необходимые для выполнения стратегических мероприятий, оценивать стоимость альтернатив при реализации тех или иных сценариев, корректировать причинно-следственные связи, положенные в основу модели Университета 4.0.

Результаты и обсуждение

На рис. 2 представлена авторская концептуальная модель цифрового двойника в контуре системы управления университетом. Из физического пространства данные поступают в структурированную базу знаний цифрового двойника двумя путями – через автоматическое получение из информационных систем (учетных, корпоративной сети, специализированного университетского программного обеспечения и др.) или посредством ручного ввода данных пользователем.

В контуре цифрового двойника происходит двусторонний инфообмен между базой знаний и имитационной моделью с целью симуляции заранее установленных задач и процессов цифрового двойника, начиная от сценарного анализа вариантов устойчивого развития университета в рамках экосистемы Университета 4.0 до оптимизации учебных программ и планирования оптимального распределения аудиторий университета. Результаты симуляции цифрового двойника поступают к лицам, принимающим решение в Центр принятия решений, расположенный в физическом пространстве. По мере развития технологий искусственного интеллекта, будет структурироваться информация, поступающая от цифрового двойника в центр принятия решений – часть оптимизационных процессов будет передана для автоматического принятия решением в рамках систем ИИ цифрового двойника (например, ресурсная оптимизация), поступая в центр принятия решений исключительно в формате уведомления о принятых решениях, а сложные вопросы, требующие дополнительного экспертного суждения, будут поступать в формате информации для поддержки принятия решения.

Мы предлагаем следующую классификацию функциональных возможностей цифрового двойника университета (рис. 3). Весь функционал цифрового двойника университета мы предлагаем разделить на три уровня – стратегический, операционный и ресурсный. Ресурсный уровень предполагает моделирование и сценарный анализ оптимального ресурсного обеспечения процессов обучения, исследований, инноваций и прочих основных и вспомогательных процессов университета. Данный уровень является целевым для полной автоматизации принятия решений в рамках цифрового двойника – например по вопросам автоматизации процедур планирования учебных планов, заполняемости аудиторий, распределения нагрузки между профессорско-преподавательским составом, распределения других ресурсных квот между процессами и структурными единицами.

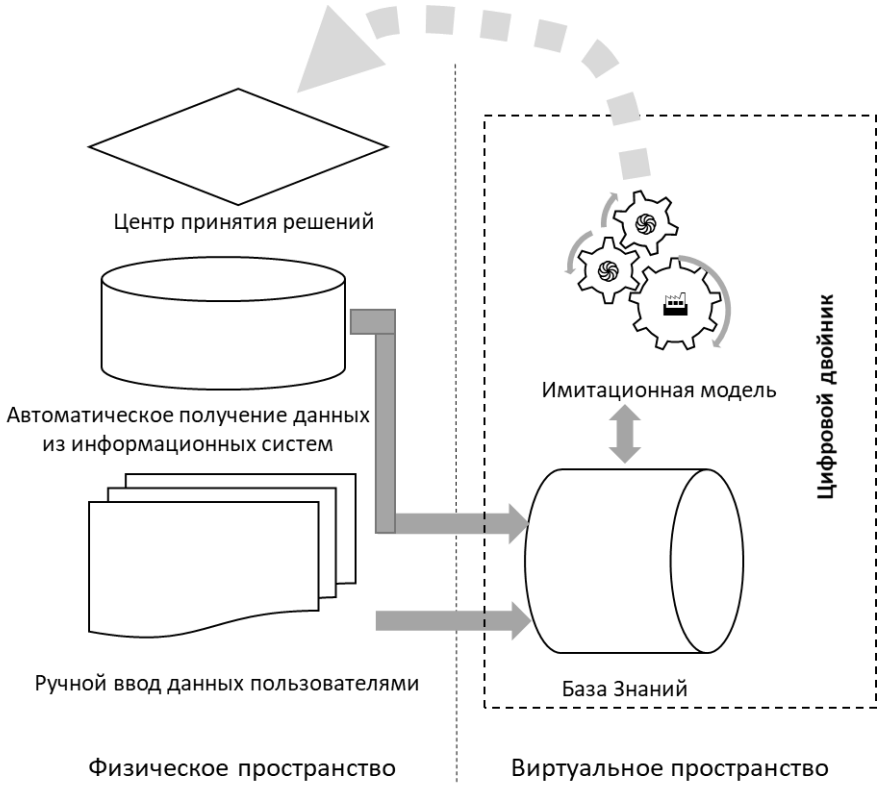


Рис. 2. Концептуальная модель цифрового двойника в контуре системы управления университетом. Источник: разработано автором.
Fig. 2. Conceptual model of a digital twin within the university management system. Source: developed by the author

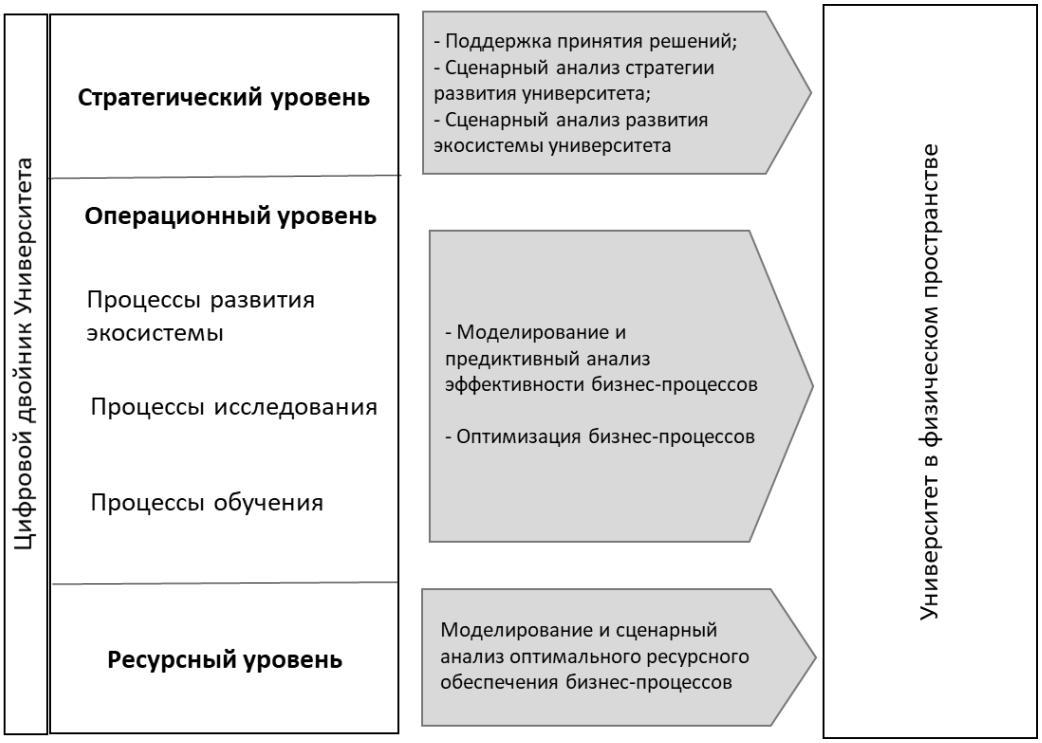


Рис. 3 – Функциональные возможности цифрового двойника университета. Источник: разработано автором.
Fig. 3 – Functional capabilities of the university digital twin. Source: developed by the author.

Операционный уровень цифрового двойника университета обеспечивает поддержку процессов обучения, исследовательской деятельности и процессов развития экосистемы Университет 4.0. По функциональному содержанию поддержка этих процессов предполагает моделирование и предиктивный анализ эффективности и оптимизации процессов. Процессы развития экосистемы связаны с операционным уровнем развития экосистемы Университета 4.0, связанные с оптимизацией достижений установленных индикаторов развития, установленных на стратегическом уровне. Часть из сценариев поддержки цифровым двойником процессов операционного уровня может быть автоматизирована технологиями ИИ текущего поколения, а в дальнейшем, по мере развития ИИ, уровень автоматического принятия решений по процессам операционного уровня должен достигнуть 100%.

Стратегический уровень цифрового двойника университета предполагает решение задач сценарного анализа стратегии развития университета и всей экосистемы Университета 4.0, различных сложных задач поддержки принятия решений, требующих специального моделирования и перенастройки имитационных моделей за рамками автоматического контура самообучения.

Наибольшую сложность представляют задачи сценарного анализа стратегического развития экосистемы Университета 4.0. Это экосистема представляет собой стейкхолдерскую сеть на основе многосторонней платформы, основными акторами которой, помимо самого университета, являются научно-исследовательские центры, предприятия бизнеса, сообщество студентов, регуляторные государственные органы. Каждый из акторов имеет собственную систему стратегических целей и набор мероприятий по ее достижению.

Задачей имитационной моделей цифрового двойника является согласования стратегий акторов экосистемы в рамках модели справедливого компромисса, разработка системы индикаторов достижения согласованной стратегии и последующий контроль достижения заданных параметров в динамике. Так же в рамках этой модели может быть оперативно просчитано влияние изменение стратегии в результате изменений под воздействием внешней среды или иного эндогенного фактора.

Заключение

В рамках настоящего исследования был проведен анализ существующих подходов к построению цифровых двойников. Опираясь на методологию создания цифровых двойников социальных систем, предложена авторская концептуальная модель цифрового двойника в контуре системы управления университетом и предложена классификацию функциональных возможностей цифрового двойника университета. Описанные в настоящей статье методологические предложения могут быть использованы для перспективного практического прототипирования цифрового двойника университета за счет следующих характеристик:

– распределения функционала цифрового двойника по уровням – стратегическому, операционному и ресурсному, в целях применения различных механизмов имитационного моделирования в каждом из компонент для достижения наилучшего результата;

– использования инструментария искусственного интеллекта для автоматизации процесса принятия управленческих решений;

– возможности автоматического самообучения имитационных моделей в составе цифрового двойника и наличие механизмов совершенствования всей системы цифрового двойника университета.

Список источников

1. Dumoulin M., Malkov D. Towards the 4th generation university: The transformative role of TU/e in delivering innovation and impact in the Eindhoven region. 2025. [Электронный ресурс] URL: https://assets.ctfassets.net/zlnfaxb2lcqx/6nZbAiUzdNHtxEE9wKaKXI/60bf3ec78fb1e9d458e19e0fe2d688fe/Elsevier-TUe-report.pdf (дата обращения 22.10.2025)

2. Боровков А.И, Рябов Ю.А., Метревели И.С., Аликина Е.А. Направление "Технет" (передовые производственные технологии) Национальной технологической инициативы // Инновации. 2019. № 11 (253). С. 50-72. EDN: YQYDSS. https://doi.org/10.26310/2071-3010.2019.253.11.009

3. Saddik, A. E. Digital twins: The convergence of multimedia technologies. // IEEE Multimedia. 2018. №25 (2), pp. 87–92. https://doi.org/10.1109/MMUL.2018.023121167

4. Zhuang, S., 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. 96, 1149–1163.

5. Rosen, R., Wichert, G., Lo, G., & Bettenhausen, K. D. About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing. *IFAC-PapersOnLine.* 2015. 48(3). Pp. 567–572. https://doi.org/10.26310/2071-3010.2019.253.11.009

6. Glaessgen, E. H., & Stargel, D. S. The digital twin paradigm for future NASA and U.S. Air Force vehicles. In 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference. 2012.

7. Grieves, M. Digital twin: Manufacturing excellence through virtual factory replication. Florida Institute of Technology. (2014, March 24) [Электронный ресурс] URL: https://www.researchgate.net/publication/275211047_Digital_Twin_Manufacturing_Excellence_through_Virtual_Factory_Replication (дата обращения 22.10.2025).

8. Jiang, C., Ma, Y., Zheng, Y., Gao, S., Cheng, S., & Chen, H. Cyber physics system: A review. Library Hi Tech. 2020. № 38(1), Pp. 105–116.

9. Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems.// Manufacturing Letters. 2015. 3, Pp. 18–23.

10.Sowe, S. K., Zettsu, K., Simmon, E., de Vaulx, F., & Bojanova, I. Cyber-physical human systems: Putting people in the loop.// IT Professional.2016. 18(1), Pp. 10–13.

11.Бурков В.Н., Буркова И.В. Умные механизмы и цифровая экономика // Математическое моделирование и информационные технологии в инженерных и бизнес-приложениях: Материалы Международной научной конференции. Воронеж, 3-6 сентября 2018 г. / под ред. М.Г. Матвеева, Д.Н. Борисова. Воронеж: Воронежский государственный университет. 2018. С. 3-9.

References

1. Dumoulin M., Malkov D. Towards the 4th generation university: The transformative role of TU/e in delivering innovation and impact in the Eindhoven region. 2025. [Electronic resource] URL: https://assets.ctfassets.net/zlnfaxb2lcqx/6nZbAiUzdNHtxEE9wKaKXI/60bf3ec78fb1e9d458e19e0fe2d688fe/Elsevier-TUe-report.pdf (accessed 22.10.2025)

2. Borovkov A.I., Ryabov Yu.A., Metreveli I.S., Alikina E.A. The Technet direction (advanced production technologies) of the National Technological Initiative. *Innovations.* 2019;11(253):50–72. (In Russ.). EDN: YQYDSS. https://doi.org/10.26310/2071-3010.2019.253.11.009

3. Saddik A. E. Digital twins: The convergence of multimedia technologies. *IEEE Multimedia.* 2018;25(2):87–92. https://doi.org/10.1109/MMUL.2018.023121167

4. Zhuang, S., 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;(96):1149–1163.

5. Rosen R., Wichert G., Lo G., & Bettenhausen K. D. About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing. *IFAC-PapersOnLine*. 2015;48(3):567–572.

6. Glaessgen E. H., & Stargel D. S. The digital twin paradigm for future NASA and U.S. Air Force vehicles. In: *53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference*. 2012.

7. Grieves, M. *Digital twin: Manufacturing excellence through virtual factory replication*. Florida Institute of Technology. (2014, March 24) [Electronic resource] URL: https://www.researchgate.net/publication/275211047_Digital_Twin_Manufacturing_Excellence_through_Virtual_Factory_Replication (accessed 10/22/2025)

8. Jiang C., Ma Y., Zheng Y., Gao S., Cheng S., & Chen H. Cyber physics system: A review. *Library Hi Tech.* 2020;38(1):105–116.

9. Lee J., Bagheri B., & Kao H. A. A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*. 2015;(3):18–23.

10. Sowe, S. K., Zettsu, K., Simmon, E., de Vaulx, F., & Bojanova, I. Cyber-physical human systems: Putting people in the loop. *IT Professional.* 2016;18(1):10–13.

11. Burkov V.N., Burkova I.V. Smart mechanisms and digital economy. In: *Mathematical modeling and information technologies in engineering and business applications:* Proceedings of the International Scientific Conference. Voronezh, September 3-6, 2018 / edited by M.G. Matveev, D.N. Borisov. Voronezh: Voronezh State University. 2018. P. 3-9. (In Russ.)

Информация об авторе

В. Е. Ляшенко – аспирант, Санкт-Петербургский университет технологий управления и экономики.

Information about the author

V. E. Lyashenko – Graduate Student, Saint-Petersburg University of Management Technologies and Economics.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 28.10.2025; одобрена после рецензирования 02.12.2025; принята к публикации 03.12.2025.

The article was submitted 28.10.2025; approved after reviewing 02.12.2025; accepted for publication 03.12.2025.