

# **МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАЗРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

**Е. В. Орлова**

*Уфимский государственный авиационный технический университет, Россия*

E-mail: ekorl@mail.ru

В статье рассматривается проблема проектирования цифровых двойников организационно-технических систем. Теоретико-методологическую основу исследования составляют фундаментальные научные труды и прикладные работы российских и зарубежных ученых в области цифровизации и цифровых двойников. В исследовании используются следующие методы: системный анализ, статистический анализ, операционное исследование, искусственный интеллект. Показано, что для сложных организационных систем, функционирующих в условиях неопределенности, не существует комплексной, универсальной технологии (методического подхода) организации процесса разработки цифровых двойников с целью ускорения их проектирования. Предложена технология организации проектирования цифрового двойника, объединяющая этапы проектирования, методы и модели и обеспечивающая его системную инженерию.

## **METHODOLOGICAL SUPPORT FOR ORGANIZATIONAL SYSTEM DIGITAL TWIN DEVELOPMENT**

**E. V. Orlova**

The article considers the problem of digital twin design of organizational and technical systems. The theoretical and methodological basis of the research is the fundamental scientific works and applied work of Russian and foreign scientists in the field of digitalization and digital twins. Following methods are used in the research: system analysis, statistical analysis, operational research, artificial intelligence. A comprehensive analysis of approaches and methods for digital twin design of organizational and technical systems is carried out. It is shown that for complex organizational systems operating under uncertainty, there is no comprehensive, universal technology (methodological approach) for organization the process of developing digital twins in order to accelerate their engineering. The technology for organizing a digital twin design, combining design stages, methods and models, and providing its system engineering is proposed.

Драйвером инновационного развития высокотехнологичных предприятий в контексте четвертой промышленной революции становится технология «цифровой двойник» как виртуальный прототип реальных производственных процессов, изделий, готовых продуктов. Использование цифровых двойников способствуют росту конкурентоспособности производимых изделий за счет повышения скорости вывода их на рынок. Применение цифровых двойников обеспечивает обоснование решений за счет быстрой проверки изменений, вносимых в конструкцию изделия и его составных частей, в ходе цифровых испытаний.

В России впервые в мире разработана нормативно-техническая докумен-

тация, регламентирующая процессы разработки и применения цифровых двойников. В 2021 году принят национальный стандарт «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения» [1], определяющий общие положения построения и эксплуатации цифровых двойников изделий.

Использование и сфера приложений цифровых двойников очень широка. Они используются в разнообразных организационно-технических системах: в архитектурном проектировании и создании «умных» городов [2], сельском хозяйстве, но также их применяют для повышения операционной эффективности при производстве потребительских товаров [3], точности диагностики и принятии решений в здравоохранении [4, 5], для привлечения клиентов и кастомизации услуг в финансовом секторе [6, 7] и в ретейле [8], для организации логистических процессов и цепочек поставок [9], в региональном и муниципальном менеджменте [10, 11].

Востребованность и спектр применения цифровых двойников расширяется. Так как их разработка и реализация базируются на ряде стремительно развивающихся технологий, то развитие цифровых двойников напрямую зависит от роста возможностей этих технологий. Это обусловлено следующими далее факторами.

1. Развитием квантовых технологий и ростом быстродействия вычислительных систем [12]. С переходом к квантовым вычислениям прогнозируется качественный скачок быстродействия аппаратных систем в ближайшее десятилетие. Это обстоятельство позволит выполнять численный анализ на основе уже существующих (и более сложных) моделей за время, приемлемое для оперативного взаимодействия физического объекта и его цифровой копии. Сегодня компании работают над разработкой и использованием квантовых алгоритмов для моделирования сложных физических процессов. Переход к таким технологиям позволит ускорить решение задач, основанных на численном моделировании, обеспечивая требуемую точность алгоритмов в условиях доступных вычислительных ресурсов (задачи многопараметрической оптимизации и др.).

2. Развитием технологии 5G [13]. Эта технология обладает более высокой пропускной способностью, меньшим временем задержки, меньшим расходом энергии батарей IoT-датчиков. Это обеспечивает рост скорости передачи сигналов между физическим объектом и его цифровым двойником. Применение сетей 5G позволит сконструировать сервисы виртуальной реальности в составе цифровых двойников и сделать доступной виртуальную верификацию и валидацию готовых продуктов.

3. Развитие технологии сильного искусственного интеллекта [14] позволят строить цифровые двойники, в которых роль человека в принятии управленческих решений будет сведена к минимуму. Цифровые двойники смогут обеспечить принятие решений автономно, координировать эти решения с другими цифровыми двойниками, выполнять самотестирование и диагностику с последующим устранением неисправностей. Такие системы поддержки принятия решения на базе цифрового двойника обеспечат принятие сложных реше-

ний в агрессивных и опасных средах без присутствия человека.

Однако организационно-методическое обеспечения процесса разработки и использования цифрового двойника остается не до конца проработанным с точки зрения согласования задач по описанию объекта моделирования и управления. Для организации такой работы требуется применение системного подхода и проектирование объекта / процесса, учитывая разные аспекты – выполняемые функции, включая идентификацию и решение возникающих проблемных вопросов в процессе его функционирования, уровень сложности, назначение, этапы жизненного цикла и другие свойства и особенности [15, 16].

Организационно-методическое обеспечение процесса разработки и использования цифровых двойников является не до конца проработанным с точки зрения согласования задач по описанию объекта моделирования и управления (физического объекта), в том числе структурного, функционального, информационного, а также формирования работ в рамках методологии управления проектами (в том числе гибкой методологии Agile, Scrum подхода и др.). Для восполнения этого пробела предлагается сформировать план работ по этапам в виде триады: задача этапа – содержание этапа – результаты этапа. Для организации такой работы требуется применение системного подхода и проектирование всех этапов жизненного цикла объекта, включая идентификацию и решение возникающих проблем в процессе его функционирования.

Разработана следующая технология, обеспечивающая организационно-методическую поддержку процесса разработки и эксплуатации цифрового двойника организационной системы, см. рисунок. Организация процесса проектирования объединяет этапы его проектирования, методы и модели, и обеспечивает ускоренный инжиниринг цифрового двойника [17].



Технология разработки цифрового двойника организационной системы

Схема работы предлагаемой технологии состоит из пяти этапов. На первом этапе необходимо обозначить проблемы и описать противоречия, возни-

кающие при разработке и внедрении цифровых двойников в отрасли. Далее следует определить цели внедрения цифрового двойника, поставить задачи исходя из цели и описать проект. На втором этапе происходит декомпозиция (сканирование) физического объекта (организационной системы). Описаны функции и свойства, а также параметры рассматриваемой системы. Далее строится его структурно-функциональная модель. Третий этап посвящен анализу внешней среды функционирования технической системы. С помощью анализа STEP (социально-технологический-экономический-политический) и SWOT (сильные-слабые стороны-возможности-угрозы) определяются важные внутренние и внешние факторы и экспертно оценивается их влияние на эффективность цифрового двойника. На четвертом этапе выбираются средства математического и компьютерного моделирования и методы проектирования цифрового двойника. Также на основе выбранной математической модели строится система поддержки принятия решений и проводятся имитационные эксперименты.

Принципиально важно, что предлагаемый подход к формированию цифровых двойников учитывает специфику объекта управления – организационной системы как системы междисциплинарной природы, объединяющей техническую (производственную) системы и организационную систему (человека) и отражает следующие ее особенности:

- самостоятельное целеполагание, целенаправленность поведения в результате чего может возникнуть сознательное искажение информации, невыполнение требуемых обязательств;
- рефлексия и прогнозирование поведения объекта/субъекта управления;
- ограниченная рациональность, в результате чего обеспечивается принятие решений в условиях неопределенности и ограничений на объем обрабатываемой информации.

Предложенный подход и методическое обеспечение позволит, во-первых, осуществлять системный анализ объекта моделирования и управления с учетом неопределенности внешней среды на базе разнородных инструментальных средств качественного и количественного анализа. Во-вторых, он представит возможность сформировать адекватную математическую модель объекта с учетом результатов этапа концептуализации и выработать компьютерную модель и осуществить ее испытания. В-третьих, этот подход может явиться основанием для построения цифрового двойника объекта и формирования системы поддержки принятия решений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. Росстандарт. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/presscenter/news/newsRST/redirect/news/1/6333?portal:componentId=88beae40-0e16-414c-b176-d0ab5de82e16&navigationalstate=JBPNS\\_r00ABXczAAZhY3Rpb24AAAABAA5zaW5nbGVOZ](https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/presscenter/news/newsRST/redirect/news/1/6333?portal:componentId=88beae40-0e16-414c-b176-d0ab5de82e16&navigationalstate=JBPNS_r00ABXczAAZhY3Rpb24AAAABAA5zaW5nbGVOZ)

XdzVmlldwACaWQAAAABAQ4MzM5AAAdfX0VPR19f (дата обращения: 13.10.2022).

2. Digital Twins vs. Building Information Modeling (BIM), 2019 [Electronic resource]. Available at: <https://www.ietfforall.com/digital-twin-vs-bim/> (Accessed: 17.09.2022).

3. Qi Q., Tao F., Hu T., Anwer N., Liu A., Wei Y., Wang L., Nee A. Enabling technologies and tools for digital twin // Journal of Manufacturing Systems. 2021. Vol. 58. P. 3-21. DOI: 10.1016/j.jmsy.2019.10.001.

4. Bruynseels K., Santoni de Sio F., Van Den Hoven J. Digital Twins in Health Care: Ethical Implications of an Emerging Engineering Paradigm // Frontiers in Genetics. 2018. Vol. 9. DOI: 10.3389/fgene.2018.00031.

5. Nasyrov R. V. Causal approach to the construction of bionic calculations based on recursive data analysis models // System Engineering and Information Technologies. 2022. Vol. 4. № 1 (8). p. 27-36. DOI 10.54708/26585014\_2022\_41827.

6. Miskinis C. Disrupting the financial and banking services using digital twins. 2021. [Electronic resource]. Available at: <https://www.challenge.org/insights/digital-twin-for-finance/> (Accessed: 17.09.2022).

7. Orlova E. V. Methodology and Models for Individuals' Creditworthiness Management Using Digital Footprint Data and Machine Learning Methods // Mathematics. 2021. Vol. 9. №. 15. 28 p. DOI: 10.3390/math9151820.

8. Kämpel M., Mueller C., Beetz M. Semantic Digital Twins for Retail Logistics // In book: Dynamics in logistic. 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-88662-2\_7.

9. Matyi H., Tamás P. Digital Twin Technology in Logistics Literature Review // Cutting & Tools in Technological System. December 2021. P. 13-21. DOI: 10.20998/2078-7405.2021.95.02.

10. Ivanov S., Nikolskaia K., Radchenko G., Sokolinsky L., Zymbler M. Digital Twin of City: Concept Overview // In conference proceedings - 2020 Global Smart Industry Conference (GloSIC). 2020. P. 178-186. DOI: 10.1109/GloSIC50886.2020.9267879.

11. Dembski F., Wössner U., Letzgus M., Ruddat M., Yamu C. Urban Digital Twins for Smart Cities and Citizens: The Case Study of Herrenberg, Germany // Sustainability. 2020. Vol. 12. 17 p. DOI: 10.3390/su12062307.

12. Nembrini R., Ferrari D. M., Cremonesi P. Feature Selection for Recommender Systems with Quantum Computing // Entropy. 2021. Vol. 23: 970. DOI: 10.3390/e23080970.

13. Allawi Y. M., Mohammed A. F. Y., Lee J., Choi S. G. A Sustainable Business Model for a Neutral Host Supporting 5G and beyond (5GB) Ultra-Dense Networks: Challenges, Directions, and Architecture // Sensors. 2022. Vol 22: 5215. DOI: 10.3390/s22145215.

14. Martínez-García A. N. Artificial Intelligence for Sustainable Complex Socio-Technical-Economic Ecosystems // Computation. 2022. Vol. 10: 95. DOI: 10.3390/computation10060095.

15. Орлова Е. В. Инженерия системного синтеза эффективности инновационных проектов // Программная инженерия. 2019. № 11-12. С. 430-439. DOI: 10.17587/prin.10.430-439.

16. Орлова Е. В. Методы и модели анализа данных и машинного обучения в задаче управления производительностью труда // Программная инженерия. 2020. № 4. С. 219-229. DOI: 10.17587/prin.11.219-229.

17. Орлова Е. В. Системный инжиниринг цифровых двойников организационно-технических систем с использованием методов интеллектуального анализа // Программная инженерия. 2022. Т. 13. №. 9. С. 425-439.