

Алёшин, В. И. Бабкин, Л. М. Гохберг, А. В. Дутов, С. Ю. Желтов, Е. Н. Каблов, Е. А. Федосов, С. Л. Чернышев. – М.: ЦАГИ, 2014. – 280 с.

7. Якубовский Ю.В., Карастелев Б.Я. Бровко П.М, Совершенствование механизма управления технологическим развитием предприятий авиастроения/ Ю.В. Якубовский, Б.Я. Карастелев, П.М. Бровко// Известия ДВФУ. Экономика и управление, 2015 - № 2 – С. 42-52.

DOI: 10.18720/IEP/2020.5/61

Боровков А.И., Рябов Ю.А., Гамзикова А.А.

## ТИПОЛОГИЗАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ (DIGITAL TWINS)

*Санкт-Петербургский политехнический университет  
Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия*

### **Аннотация**

В настоящее время не существует универсального и всеобъемлющего определения технологии «цифровой двойник» (Digital Twin), однако данный термин широко используется в публикациях, в том числе, в научных статьях и национальных инициативах по развитию новых технологий. В статье представлены результаты исследования на основе обзора публикаций ведущих мировых компаний-лидеров, научно-исследовательских организаций, а также экспертного практического опыта специалистов Центра компетенций Национальной технологической инициативы «Новые производственные технологии» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Предложены следующие варианты типологизации термина «цифровой двойник»: на основе момента появления цифрового двойника относительно реального объекта или процесса; на основе уровня адекватности цифрового двойника реальному объекту или процессу; на основе целей применения цифровых двойников.

**Ключевые слова:** цифровые двойники, цифровые тени, типологизация.

Borovkov A., Ryabov Yu., Gamzikova A.

## DIGITAL TWINS TYPOLOGIZATION

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia*

### **Abstract**

There is no one-size-fits-all definition of the Digital Twin technology. However, the term is widely used in publications, including scientific papers and national initiatives on emerging technologies. This article presents the results of research based on a review of the world's leading companies' and academic institutions' publications, as well as on the expertise and hands-on experience of the National Technology Initiative Center for Advanced Manufacturing Technologies of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. The authors propose the following typologization variants of the Digital Twin definition: according to the Digital Twin emergence time point, according to the Digital Twin level of adequacy to a physical product or actual process, and according to the Digital Twin goals.

**Keywords:** Digital Twins, Digital Shadows, typologization.

### **Введение**

Термин «цифровой двойник» (Digital Twin) широко используется в документах, программах и научных публикациях уже свыше десяти лет. Несмотря на это, до сих пор не существует единого подхода к его определению. Вендоры передовых компьютерных технологий, высокотехнологичные промышленные компании, консалтинговые фирмы, научно-исследовательские институты и университеты предлагают отличные друг от друга трактовки и интерпретации, как правило, тесно связанные со сферой деятельности или направлением исследований данных организаций.

В этой статье предлагаются варианты типологизации определений, основанные на результатах исследования,

которое было проведено Центром компетенций Национальной технологической инициативы «Новые производственные технологии» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (далее – Центр НТИ СПбПУ) в рамках подготовки материалов «Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности. Краткий доклад (сентябрь 2019 года)» [1].

**Цель исследования** – разработка вариантов типологизации термина «цифровой двойник» на основе выделения, сравнения и обобщения ряда определений, представленных в различных публикациях.

### **Результаты исследования**

*Первый вариант типологизации: на основе момента появления цифрового двойника относительно реального объекта или процесса*

Выделяются различные подходы к трактовке термина, связанные с моментом появления цифрового двойника относительно реального объекта / процесса.

В ряде определений подразумевается, что разработка цифрового двойника должна предшествовать созданию физического объекта (например, определения Майкла Гривса [1], Altair Engineering [3, 4], Центра НТИ СПбПУ [5]); в других, напротив, подчеркивается, что до начала эксплуатации физического объекта цифровой двойник существовать не может (например, Ansys, Inc. [6]). Некоторые трактовки допускают оба подхода (например, CIMdata [7]).

Объединение обоих подходов возможно в рамках классической концепции Майкла Гривса, включающей в себя прототипы (Digital Twin Prototype) и экземпляры цифровых двойников (Digital Twin Instance):

1. Прототип цифрового двойника (Digital Twin Prototype): прототип, используемый для создания экземпляра цифрового двойника. Как правило, в состав такого прототипа входит подробная высокоточная математическая модель. При этом прототип не включает в себя результаты измерений и отчеты, поступающие от физического устройства (прототип цифрового двойника разрабатывается до появления конкретного изделия, устройства или процесса).

2. Экземпляр цифрового двойника (Digital Twin Instance): цифровой двойник, содержащий информацию о настройках модели, управляющих параметрах, данные с датчиков и исторические сведения для конкретного изделия, устройства или процесса (экземпляр цифрового двойника соответствует конкретному объекту / процессу и появляется вместе с ним) [8].

*Второй вариант типологизации: на основе уровня адекватности цифрового двойника реальному объекту или процессу*

Определения цифрового двойника также можно рассмотреть с точки зрения подходов к разработке математических моделей с высоким уровнем адекватности реальным объектам / процессам:

1. Требуемый уровень адекватности модели достигается еще до ввода реального объекта / процесса в эксплуатацию (например, определение цифрового двойника Центра НТИ СПбПУ [5, 9]).

2. Уточнение модели происходит на стадии эксплуатации на основе реальных данных, получаемых с помощью технологий промышленного интернета (например,

определения цифрового двойника Altair Engineering [3, 4] и «умного» цифрового двойника Центра НТИ СПбПУ [5]).

*Третий вариант типологизации: на основе целей применения цифровых двойников*

Различия в трактовках с точки зрения требуемой адекватности и момента появления цифрового двойника, как правило, связаны с подразумеваемыми целями применения данной технологии. С точки зрения задач, решаемых с помощью технологии цифровых двойников, предлагается следующая классификация (некоторые определения могут быть отнесены к двум и более перечисленным типам).

1. «Информационно-диагностические» цифровые двойники (Information and Diagnostic Digital Twins). Обеспечивают мониторинг и сортировку / анализ инцидентов, идентифицируют сбои / ошибки / нештатное поведение. Примеры определений: General Electric [10, 11], PTC [12, 14], Deloitte [16].

В данном случае цифровые двойники необходимо отличать от цифровых теней (Digital Shadow), которые представляют собой системы связей и зависимостей, описывающих поведение реального объекта / продукта, как правило, в нормальных условиях работы и содержащихся в избыточных больших данных (Big Data), которые получают с реального объекта / продукта при помощи технологий промышленного интернета. Для формирования цифровой тени посредством выявления связей и зависимостей используется предиктивная аналитика [см. 9].

Формирование цифровых теней обеспечивается за счет реализации алгоритма:

*Объект → Датчики → Промышленный интернет (IIoT) → Большие данные (Big Data) / “Озеро данных” (Data Lake) → ЦОД → Предиктивная аналитика (PA)*

Цифровые тени не дают понимания, где располагаются критические зоны, в которых нужно устанавливать датчики (не дают ответа на вопрос «Где измерять?»), и какие критические характеристики (температура, давление, перемещения, деформации, ускорения, виброперемещения, виброускорения и т.д.) необходимо отслеживать и оценивать (не дают ответа на вопрос «Что измерять?») [9].

С помощью цифровых теней возможно предсказать поведение, сходное с тем, что уже наблюдалось, но нельзя спрогнозировать аварийные ситуации, если ранее они никогда не происходили на таком объекте.

Некоторые задачи мониторинга могут быть решены с помощью решений предиктивной аналитики, которые применяются, как правило, для процессов, которые сложно описывать, но при этом достаточно стабильных. Использование оправданно для менее дорогостоящих изделий серийного производства.

Для сложных и дорогостоящих объектов и систем стоимость ошибки, связанной с применением только цифровых теней и недостаточно адекватных моделей, может оказаться очень высокой. Развитие нештатной ситуации (на возникновение которой, как правило, влияет множество различных факторов), может оказаться столь стремительным во времени, что ни специализированные систе-

мы, ни операторы не смогут на неё своевременно отреагировать.

2. «Предиктивные» цифровые двойники (Predictive Digital Twins). Прогнозируют будущее поведение объекта / системы / процесса в различных условиях. Примеры определений: Oracle [18], AnyLogic [20].

3. «Качественные» цифровые двойники (Quality Digital Twins). Позволяют на стадии планирования и разработки продукта предотвратить производственные неудачи и сэкономить ресурсы и время. Примеры определений: Siemens [21], Dassault Systèmes [23].

4. «Операционные» цифровые двойники (Operational Digital Twins). Способствуют прозрачности и оптимизации производственных и / или бизнес-процессов в компании или на предприятии. Примеры определений: Microsoft [25], Bosch [27].

### **Выводы**

Несмотря на то что различные трактовки цифрового двойника фокусируются на различных аспектах технологии, для всех отобранных определений общим является понимание, что цифровой двойник – это комплекс технологий и решений для обеспечения жизненного цикла продукта / машины / конструкции / системы /... обладающий мощным потенциалом.

Цифровые двойники в промышленности эффективно применяются на стадии НИОКР, где специально организованный процесс проектирования на основе многоуровневой гиперматрицы требований / целевых показателей и ресурсных ограничений [1] обеспечивает

– значительное снижение времени и затрат на разработку, включая изготовление излишне большого количества опытных образцов;

– значительное снижение объёмов натуральных испытаний и доведение этих объёмов до минимально необходимого.

Кроме того, понятно, что цифровые двойники и цифровые тени позволяют управлять изменениями на всех последующих стадиях жизненного цикла.

Мониторинг изменения подходов к определениям «цифрового двойника» фиксирует постепенную унификацию определений. При этом реальное наполнение термина, то есть включение в его состав тех или иных технологий, производственных и иных процессов, может значительным образом различаться. Тем не менее, формула комплексирования технологий с различными весовыми коэффициентами [см. 1, 5], предложенная Центром НТИ СПбПУ для описания одного из ключевых компонентов цифрового двойника как процесса создания глобально конкурентоспособной продукции, является достаточно гибкой и при известных допущениях адекватно представляет общую картину.

#### *Литература*

1. *Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности. Краткий доклад (сентябрь 2019 года) / А.И. Боровков, А.А. Гамзикова, К.В. Кукушкин, Ю.А. Рябов. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. – 62 с.*

2. *Grieves M.W. Virtually Intelligent Product Systems: Digital and Physical Twins // Complex Systems Engineering: Theory and Practice / Ed. by S. Flumerfelt, K.G. Schwart, D. Mavris, S. Briceno. – American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2019. – P. 175–200. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/334599683\\_Virtually\\_Intelligent\\_](https://www.researchgate.net/publication/334599683_Virtually_Intelligent_)*



*Product\_Systems\_Digital\_and\_Physical\_Twins* (дата обращения: 22.08.2019).

3. *Altair Digital Twin Platform.* – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=Ва6iQdLNcqo&t=1s> (дата обращения: 22.11.2019).

4. *Altair Digital Twin Platform. Optimizing product performance and life.* – URL: <https://www.altair.com/digital-twin/> (дата обращения: 22.11.2019).

5. Боровков А.И., Рябов Ю.А. Определение, разработка и применение цифровых двойников: подход Центра компетенций НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии» // *Цифровая подстанция.* – 2019. – № 12. – С. 20–25. – URL: [http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2019/12\\_december/09/cifrovyye\\_dvoyniki.pdf](http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2019/12_december/09/cifrovyye_dvoyniki.pdf)

6. Брук П.А. Цифровые двойники, основанные на симуляции мультифизических процессов // *Рациональное управление предприятием.* – 2019. – № 1-2. – URL: [http://www.remmag.ru/upload\\_data/files/2019-0102/ANSYS.pdf](http://www.remmag.ru/upload_data/files/2019-0102/ANSYS.pdf) (дата обращения: 19.08.2019).

7. *Evolving from Digital Prototypes to Physics-Based Digital Twins: a CIMdata White Paper.* – URL: <https://www.cimdata.com/en/resources/complimentary-reports-research/executive-summaries/item/11168-evolving-from-digital-prototypes-to-physics-based-digital-twins> (дата обращения: 14.06.2019).

8. Grieves M., Vickers J. *Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems (Excerpt).* – URL: [https://www.researchgate.net/publication/307509727\\_Origins\\_of\\_the\\_Digital\\_Twin\\_Concept](https://www.researchgate.net/publication/307509727_Origins_of_the_Digital_Twin_Concept) (дата обращения: 03.09.2019).

9. Боровков А.И., Рябов Ю.А. Цифровые двойники: определение, подходы и методы разработки // *Цифровая трансформация экономики и промышленности: сборник трудов научно-практической конференции, 20–22 июня 2019 г. / под ред. А.В. Бабкина.* – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. – С. 234–245. – URL: [http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2019/06\\_june/24/INPROM\\_Cifrovyye\\_dvoyniki.pdf](http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2019/06_june/24/INPROM_Cifrovyye_dvoyniki.pdf)

10. *GE Exec on Predix Platform, Digital Twins and Diversity.* – URL: <https://www.iiotworldtoday.com/2018/01/30/ge-exec-predix-platform-digital-twins-and-diversity/> (дата обращения: 09.06.2019).

11. *What is a digital twin?* – URL: [https://www.ge.com/digital/applications/digital-twin?source=post\\_page](https://www.ge.com/digital/applications/digital-twin?source=post_page) (дата обращения: 09.06.2019).

12. Thompson S. *What Is Digital Twin Technology?* –
13. URL: <https://www.ptc.com/en/product-lifecycle-report/what-is-digital-twin-technology> (дата обращения: 10.06.2019).
14. Pike J. *All You Need to Know About the Digital Twin.* –
15. URL: <https://www.ptc.com/en/windchill-blog/all-you-need-to-know-digital-twin> (дата обращения: 09.01.2019).
16. Parrott A., Warshaw L. *Industry 4.0 and the digital twin.* –
17. URL: <https://www2.deloitte.com/cn/en/pages/consumer-industrial-products/articles/industry-4-0-and-the-digital-twin.html> (дата обращения: 14.06.2019).
18. *Digital Twins for IoT Applications - A Comprehensive Approach to Implementing IoT Digital Twins.* –
19. URL: <http://www.oracle.com/us/solutions/internetofthings/digital-twins-for-iot-apps-wp-3491953.pdf> (дата обращения: 03.09.2019).
20. *ATOM: Digital Twin of Siemens Gas Turbine Fleet Operations.* –
- URL: <https://www.anylogic.com/atom-digital-twin-of-siemens-gas-turbine-fleet-operations/> (дата обращения: 26.06.2019).
21. *Digital Twin. Siemens.* –
22. URL: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/glossary/digital-twin/24465> (дата обращения: 01.08.2019).
23. *Dassault Systèmes SIMULIA Analyst Event 2018: New Highlights in Simulating Product, Nature and Life (Commentary).* –
24. URL: <https://www.cimdata.com/zh/resources/complimentary-reports-research/commentaries/item/10122-dassault-systemes-simulia-analyst-event-2018-new-highlights-in-simulating-product-nature-and-life-commentary/10122-dassault-systemes-simulia-analyst-event-2018-new-highlights-in-simulating-product-nature-and-life-commentary> (дата обращения: 09.10.2019).
25. *The promise of a digital twin strategy. Best practices for designers and manufacturers of products and industrial equipment.* –
26. URL: <https://info.microsoft.com/rs/157-GQE-382/images/Microsoft%27s%20Digital%20Twin%20%27How-To%27%20Whitepaper.pdf> (дата обращения: 20.06.2019).
27. Glocker G. *A primer on digital twins in the IoT [Electronic resource].* URL: <https://blog.bosch-si.com/bosch-iot-suite/a-primer-on-digital-twins-in-the-iot/> (дата обращения: 12.02.2020).