

УДК 339.97

**К ВОПРОСУ О КЛАССИФИКАЦИИ ЦИФРОВЫХ  
ДВОЙНИКОВ ПО УРОВНЮ СЛОЖНОСТИ И ЗРЕЛОСТИ****Касьянова Н.Т., Тумашева Е.С., Матвеева Н.В.***Санкт-Петербургский имени В.Б. Бобкова филиал  
Российской таможенной академии***ON THE ISSUE OF CLASSIFICATION OF DIGITAL TWINS  
BY LEVEL OF COMPLEXITY AND MATURITY****Kasyanova N.T., Tumasheva E.S., Matveeva N.V.***St. Petersburg named after V.B. Bobkov Branch of the Russian Customs Academy***Аннотация**

Под технологией цифрового двойника подразумевается широкий спектр решений, варьируемый по сложности, зрелости, набору используемых технологий и стоимости решения. В данной статье производится анализ цифровых двойников по уровню их сложности и зрелости. В условиях, когда имеется достаточно много определений термина «цифровой двойник», представляет интерес, насколько размыты границы исследуемого понятия и какие его характеристики наиболее значимы.

**Ключевые слова:** цифровой двойник, многокомпонентная система двойников, классический цифровой двойник, адаптивный цифровой двойник, интеллектуальный цифровой двойник, технология цифрового двойника, интерфейс, рынок цифровых двойников, национальный цифровой двойник, цифровая трансформация.

**Abstract**

Digital twin technology refers to a wide range of solutions, varying in complexity, maturity, the set of technologies used and the cost of the solution. This article analyzes digital twins according to their level of complexity and maturity. In conditions where there are quite a lot of definitions of the term «digital twin», it is of interest how blurred the boundaries of the concept under study are and what are its most significant characteristics.

**Keywords:** digital twin, multicomponent twin system, classic digital twin, adaptive digital twin, intelligent digital twin, digital twin technology, interface, digital twin market, national digital twin, digital transformation.

**Ссылка для цитирования:** Касьянова Н.Т., Тумашева Е.С., Матвеева Н.В. К вопросу о классификации цифровых двойников по уровню сложности и зрелости // Бюллетень инновационных технологий. – 2024. – Т. 8. – № 1(29). – С. 19-23. – EDN WZSHAV.

Инженерные объекты могут существенно различаться по сложности, равно как и цифровые двойники (далее – ЦД), соответствующие этим объектам. Речь может идти о ЦД отдельной детали, отдельного узла, состоящего из нескольких деталей, сложного инженерного объекта, включающего миллионы деталей. Очевидно, что так же, как сложные физические объекты состоят из отдельных узлов, так и цифровые двойники могут состоять из нескольких ЦД-подсистем [1]. То есть речь идет о иерархии (вложенности) ЦД. В частности, в концепции компании Xmpgo [2] принята следующая схема: двойники делятся на двойники минимальной (атомарной) сложности (Atomic Twin), цифровые двойники, которые включают в себя несколько атомарных (Composite Twin), – многокомпонентный двойник, и третий тип (Composite System of

Twins) – многокомпонентная система двойников (рис. 1.)

Однако данная классификация не является единственной и общепринятой. В частности, специалисты General Electric выделяют другие типы двойников, различающиеся по назначению и сложности: ЦД компонента (Component Twin), ЦД актива (Asset Twin), ЦД комплексного объекта (System Unit Twin) и ЦД процесса (Process Twin) (рис.2).

ЦД компонента (например, ЦД ротора, лопатки, зубчатого колеса) может выполнять роль раннего предупреждения о возможном выходе из строя соответствующего компонента. Концепция виртуализации сегодня активно внедряется в сетевых технологиях [3]. ЦД актива (например, ЦД турбины, двигателя или насоса) может осуществлять мониторинг и анализировать ход выработки ресурса с целью минимизации

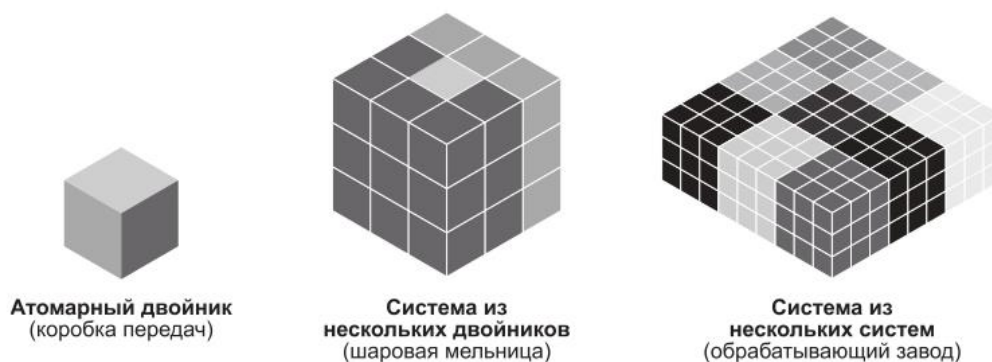


Рис.1. Классификация ЦД по уровню сложности в концепции Хmpro [1]

его обслуживания. При этом ЦД актива может состоять из нескольких ЦД компонентов. ЦД комплексного объекта (например, ЦД самолета, электростанции или установки по переработке нефти) может решать задачи оптимизации работы всей системы, исходя из набора определенных KPI, учитывая такие параметры, как доходы предприятия, эксплуатационные ресурсы агрегата, затраты на его обслуживание и т. п. Соответственно, ЦД системы может состоять из ЦД активов и ЦД компонентов. ЦД процесса, как правило, являясь двойником еще более сложного объекта, дает представление о наборе действий или операций, таких

как производственный процесс промышленных изделий. Цифровой двойник процесса может быть построен на базе набора двойников активов или систем. В двойнике данного типа центром внимания является не столько оборудование, сколько сам процесс.

Термины «ЦД компонента» (Component twin), «ЦД актива» (Asset twin), «ЦД комплексного объекта» (System unit twin), «ЦД процесса» (Process twin) используются в ряде отчетов, но перечисленными двумя системами классификации специалисты не ограничились.

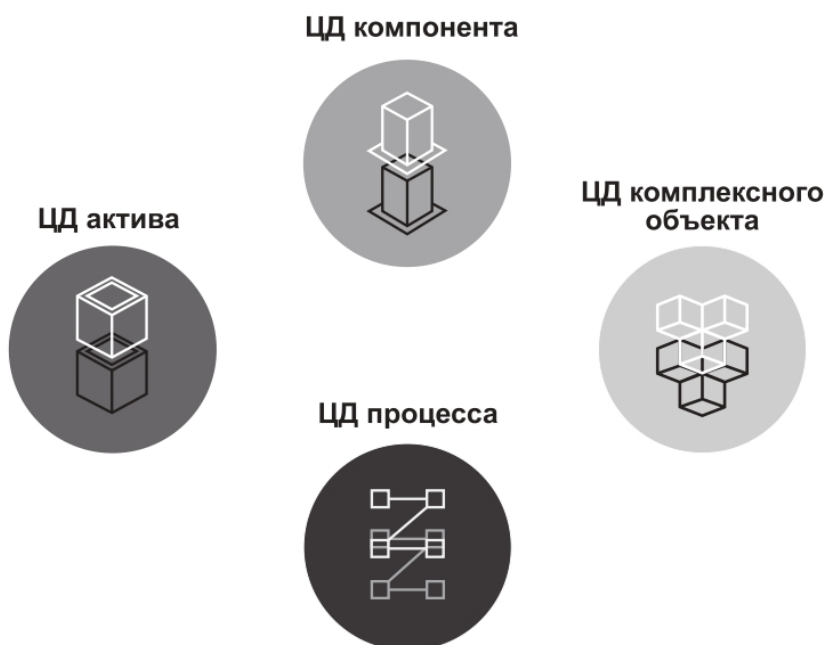


Рис.2. Классификация ЦД по уровню сложности и типу решаемых задач [1]

Например, используются другие термины для похожего типа классификации: «ЦД детали» (Parts Twin), «ЦД изделия/продукта» (Product Twin), «ЦД системы» (System Twin) и «ЦД процесса» (Process Twin). Приведенная ссылка говорит о том, что понятие «ЦД» находится в стадии формирования и унификация производных терминов еще не проведена. Обозначения для двойников разной сложности варьируются от автора к автору, при этом все сходятся во мнении, что ЦД одного актива – это только первый шаг, который можно продолжить для создания цифрового двойника целого парка активов. ЦД парка машин может стать частью ЦД всей компании, как было отмечено выше. Обсуждаются и более глобальные проекты, как, например, построение «национального цифрового двойника» – National Digital Twin (NDT) – именно так называется проект, разрабатываемый в Великобритании [3]. Согласно концепции, национальный двойник – это не единый ЦД существующей искусственной среды, а интеграция «федераций» цифровых двойников, объединенных общими данными. Причем не все двойники обязательно должны быть подключены к системе, связь устанавливается там, где это дает дополнительную ценность. ЦД могут объединяться различными способами для различных целей. Это

означает, что разработка, поддержка и использование ЦД требуют дорогостоящих ресурсов по обработке и хранению информации [4]. Система может состоять из многочисленных федераций ЦД. Разработчики концепции отмечают, что проект типа NDT – это перманентный процесс, не имеющий конечной точки, как и процесс развития интернета, он будет становиться все более разнообразным и взаимосвязанным со временем и приобретать все большую ценность для пользователей.

Выше мы упоминали об эволюции цифровых двойников с момента появления концепции и до сегодняшнего дня. Спектр применения ЦД растет с каждым годом, они все больше востребованы в самых разных проектах [5]. Резкое увеличение числа IoT устройств и снижение их стоимости стимулируют рост использования цифровых двойников [6]. Очевидно, что можно говорить также о развитии (увеличении сложности/зрелости) ЦД на одном предприятии, имея в виду переход от более простых к более сложным решениям. При этом возникает ряд вопросов, например, можно ли создать цифровой двойник на стадии, когда нет физического двойника, или ЦД появляется только тогда, когда появляется физическая система, которая сообщает данные о своем состоянии цифровому двойнику? В

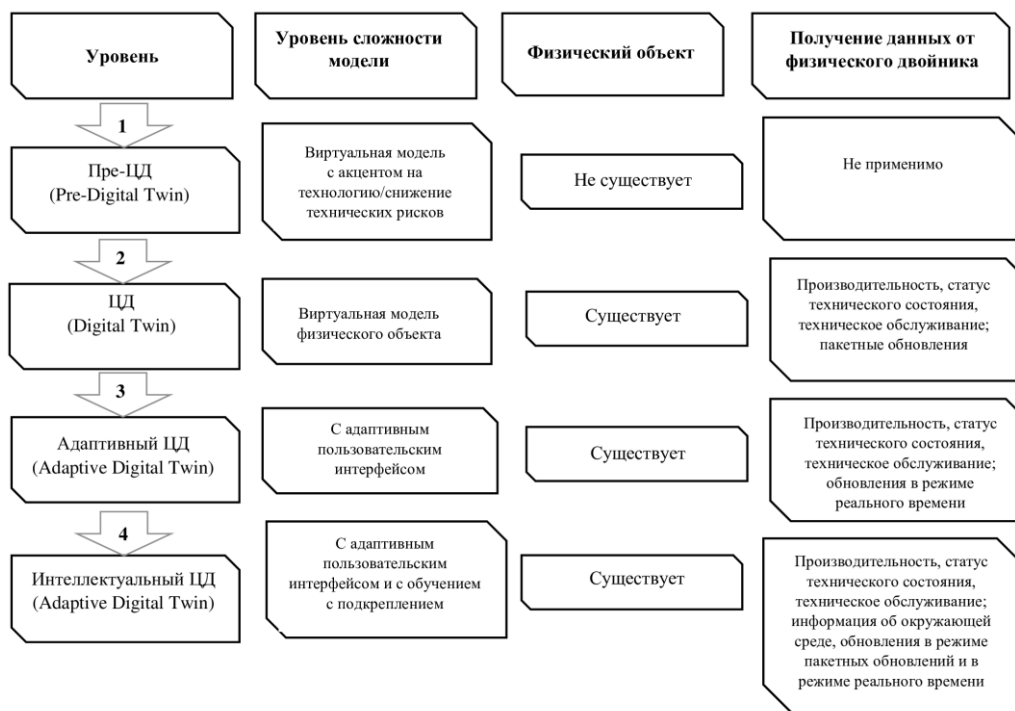


Рис.3. Классификация ЦД по уровню зрелости

самом определении есть некоторое противоречие. С одной стороны, ЦД не является двойником, пока у него нет «двойника» – готового физического прототипа. С другой стороны, цифровой двойник должен существовать на всех этапах жизненного цикла реального изделия (то есть и на стадии его дизайна), – тогда, когда реального продукта еще нет, а он только планируется. Весь жизненный цикл оборудования – проектирование, создание, обслуживание и устранение неполадок, становится значительно более производительным благодаря ЦД [7]. Для того чтобы избежать терминологической путаницы, предлагается выделять четыре уровня зрелости ЦД (рис. 3) и уточнять, о каком типе двойника идет речь.

Уровень 1. «Предшественник ЦД» (Pre-Digital Twin). Это цифровая модель высокой точности, которая создается до этапа изготовления производства физического изделия – до появления цифровой тени. Другое название ЦД такого типа – «ЦД стадии проектирования», которое уже прижилось в русскоязычных публикациях на тему ЦД.

Уровень 2. ЦД (Digital Twin). Классический ЦД, который появляется на стадии, когда есть пара (цифровой и физический

двойники), и, соответственно, цифровая модель уточняется на базе данных цифровой тени.

Уровень 3. Адаптивный цифровой двойник (Adaptive Digital Twin) позволяет изучать предпочтения/приоритеты людей-операторов в разных контекстах, с использованием алгоритма машинного обучения на основе нейронной сети. Модели, используемые в этом ЦД, постоянно обновляются на основе данных, извлекаемых из физического двойника в режиме реального времени. ЦД может поддерживать планирование в реальном времени и принимать решения во время операций, технического обслуживания и поддержки.

Уровень 4. Интеллектуальный ЦД (Intelligent Digital Twin) обладает всеми возможностями ЦД 3-го уровня (включая машинное обучение с учителем), а также обладает способностью машинного обучения без учителя – может распознавать объекты и шаблоны, встречающиеся в операционной среде. ЦД на этом уровне обладает высокой степенью автономии, может анализировать более детальные данные о производительности, обслуживании и работоспособности, полученные от реальных объектов.

## Список литературы

1. Мантусов В.Б., Афонин Д.Н., Афонин П.Н., Данько Д.Ю. Цифровой фактический контроль: тренд современности. – Российская таможенная академия, Санкт-Петербургский имени В.Б. Бобкова филиал. – Санкт-Петербург: Российская таможенная академия, 2019. – 200 с. – ISBN 978-5-9590-1113-0. – EDN FERUEO.

2. Прохоров А., Лысачев М. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. – М.: ООО «АльянсПринт». – 2020. – 401 с.

3. Афонин Д.Н. Возможности, перспективы и проблемы виртуализации в Федеральной таможенной службе России // Бюллетень инновационных технологий. – 2020. – Т. 4. – № 2(14). – С. 52–55. – EDN HMKSVT

4. Денисов С.Г. Влияние трендов облачных технологий и периферийных вычислений на тех-

нологии цифровых двойников // Бюллетень инновационных технологий. – 2023. – Т. 7. – № 3(27). – С. 9–13. – EDN IWZCNU

5. Касьянова Н.Т., Тумашева Е.С. Рынок цифровых двойников: стимулирующие и сдерживающие факторы // Бюллетень инновационных технологий. – 2023. – Т. 7. – № 1(25). – С. 30–35. – EDN VOPKJH

6. Денисов С.Г. Технологии сбора и обработки данных для создания цифровых двойников // Бюллетень инновационных технологий. – 2023. – Т. 7. – № 2(26). – С. 12–17. – EDN ZKGLQC

7. Денисов С.Г. Цифровые двойники и новые человеко-машинные интерфейсы: возможности дополненной и виртуальной реальности // Бюллетень инновационных технологий. – 2023. – Т. 7. – № 4(28). – С. 25–29. – EDN EVJVLO.

Поступила в редакцию 12.01.2024

## Сведения об авторах:

*Касьянова Наталья Тихоновна* – старший преподаватель кафедры таможенных операций и таможенного контроля Санкт-Петербургского имени В.Б. Бобкова филиала Российской таможенной академии, e-mail: natakas77@mail.ru

*Тумашева Екатерина Степановна* – старший преподаватель кафедры таможенных операций и таможенного контроля Санкт-Петербургского имени В.Б. Бобкова филиала Российской таможенной академии, e-mail: tumasheva.yekaterina@bk.ru

*Матвеева Наталья Васильевна* – доцент кафедры таможенных операций и таможенного контроля Санкт-Петербургского имени В.Б. Бобкова филиала Российской таможенной академии, кандидат экономических наук, e-mail: nataliamatv05@mail.ru



Электронный научно-практический журнал "**Бюллетень инновационных технологий**"  
(ISSN 2520–2839) является сетевым средством массовой информации  
регистрационный номер Эл № ФС77-73203  
по вопросам публикации в Журнале обращайтесь по адресу [bitjournal@yandex.ru](mailto:bitjournal@yandex.ru)