

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА В ЭКСПЛУАТАЦИИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Рахманов М.Л., д-р техн. наук, проф. кафедры 104 «Технологического проектирования и управления качеством», Московский авиационный институт

Василенко Г.В., канд. техн. наук, директор по развитию СБЕ Мобильные системы ООО «Корпорация «Проект-техника»

Шишкин А.В., аспирант кафедры 104 «Технологического проектирования и управления качеством», Московский авиационный институт

С развитием Индустрии 4.0, крайне важным является вопрос, связанный со стандартизацией и внедрением в производство или эксплуатацию современных информационных технологий, возрастает надобность разработки стандартов и формализованных подходов и методик для эффективной эксплуатации или обслуживания сложных высокотехнологичных изделий. В связи с этим, в статье рассмотрен опыт применения зарубежными организациями технологии «цифрового двойника» и функционал со структурой изделий сложной высокотехнологичной техники, а также видение порядка (способов) реализации настоящего вопроса различными иностранными компаниями.

Сформирована и описана декомпозированная структура цифрового двойника изделия. Проанализированы основные функции и структуры цифровых двойников изделий в эксплуатации. Сформулированы основные задачи, которые должен решать цифровой двойник, как для изготовителя, так и для эксплуатирующей организации.

Ключевые слова: качество, стандарты, формализация, структура изделия, цифровой двойник, эффективность, надежность.

ВВЕДЕНИЕ

Во время проектирования и разработки изделия создаются значительные объемы информации на бумажных носителях: конструкторская, ремонтная и эксплуатационная документация, схемы, чертежи, трехмерные модели, служебные записки и прочее [1, 4, 5]. Использование эксплуатантом указанной документации на бумажных носителях в ходе повседневной деятельности – очень проблематично, особенно в вопросах поиска и своевременного устранения неисправностей современной высокотехнологичной техники. Из-за сложности конструкции современных образцов техники и затруднительного доступа к отдельным ее узлам и агрегатам, на диагностику, поиск неисправностей и их устранение эксплуатанты вынуждены тратить значительное время [2].

С помощью цифрового двойника этот процесс можно упростить, сократив временные, эксплуатационные и финансовые затраты. Проанализировав опыт использования цифровых двойников образцов техники за границей, было выделено

несколько проектов, которые включают в себя использование подхода «цифровой двойник» (далее по тексту – ЦД).

Перечень авиaproектов с применением «цифровых двойников»

ИЗДЕЛИЕ	ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ	ЦЕЛИ ПРОЕКТА	ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ ПРОЕКТА
B-1B Lancer Сверхзвуковой стратегический бомбардировщик	Определение отказов и программы технического обслуживания и ремонта	Прогнозирование в цифровой среде	Применение технологии лазерного сканирования
F-35 Многоцелевой истребитель-бомбардировщик	Разработка нового изделия	Цифровые испытания и цифровой прогноз поведения	Применение технологии структурного цифрового двойника

TF-X Истребитель	Разработка нового изделия	Разработка многоцелевого оборудования следующего поколения	Применение технологии цифрового двойника
UH-60L Black Hawk Многоцелевой вертолет	Поддержание эксплуатации	Изготовление изделий для замены	Применение технологии трехмерного сканирования и аддитивной печати

Исходя из анализа применения цифровых двойников изделий, обозначенных в таблице, можно сделать вывод, что массовое применение цифровых двойников в отрасли оборонной промышленности ведет к снижению трудозатрат, связанных с управлением и эксплуатацией изделий. К примеру, если система кондиционирования воздуха в истребителе нуждается в ремонте, то с помощью цифрового двойника техник может не только оперативно определить причину неисправности, но и с высоким уровнем качества устранить неисправность, используя данные, полученные в цифровом двойнике. В случаях, когда посещение объекта по каким-либо причинам невозможно или требует значительного времени, цифровой двойник обеспечит возможность поиска неисправностей и определения способов их устранения без фактического посещения объекта [2, 3].

Поставка изготовителем цифровых двойников заказчику позволит последним эксплуатировать объекты с более высоким качеством. Одновременно с этим использование цифрового двойника изготовителем объекта при планировании его доработки или модернизации, позволит спрогнозировать уровень повышения технических характеристик изделия и сократить материальные затраты на запланированные мероприятия. Анализ цифровых функций и структура цифровых двойников изделий в эксплуатации, а также основные задачи, которые должен решать цифровой двойник как для изготовителя, так и для эксплуатирующей организации с учетом имеющейся нормативной базы в области стандартизации представлен ниже.

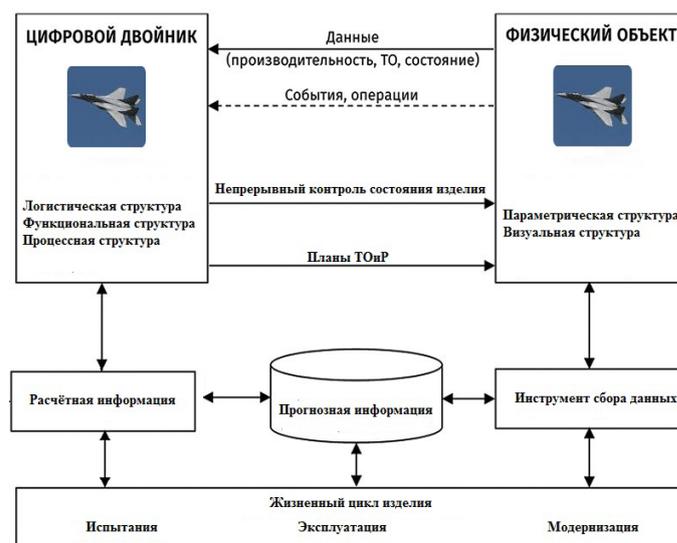
СТРУКТУРА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА

ГОСТ Р 57700.37–2021 Цифровые двойники трактует, что это система, состоящая из цифровой модели изделия и двусторонних информационных связей с изделием (при наличии изделия) и (или) его составными частями.

У каждого цифрового двойника должны быть физические устройства, которые генерируют данные и программное обеспечение, которое контролирует работу и описывает процессы, происходящие в ЦД. Стоит понимать, что ЦД может включать в себя другие цифровые двойники, которые имеют определенные функции [6, 7, 8]. Это не будет противоречить стандарту ГОСТ Р 57700.37–2021.

У каждого ЦД существует своя структура, входы-выходы информации и определенный алгоритм работы. ЦД может и должен анализировать информацию, поступающую в него [12, 13].

Структура цифрового двойника изделия авиатехники



ЦД должен обладать системой обмена данными, которая будет содержать в себе следующие структуры и блоки с информацией:

- логистическая структура изделия – структура изделия, включающая элементы, которые требуют технического обслуживания, ремонта или замены в процессе эксплуатации, а также элементы, отказ которых может привести к отказу конечного изделия или возникновению аварийной ситуации;
- функциональная структура изделия – структура, состоящая из элементов, описывающих функции (функциональных элементов) и связей между ними. Отображает иерархическое строение и содержит несколько уровней разукрупнения, где описаны функциональные свойства (характеристики), и функциональные требования;
- параметрическая структура изделия – структура, состоящая из элементов, которые отображают геометрические, кинематические, электрические и иные связи (отношения) между компонентами либо подсистемами изделия;
- визуальная структура изделия – взаимное расположение структурных элементов изделия в пространстве, их внутреннее строение и характер взаимодействия между ними;
- процессная структура изделия – структура технических подробностей работы изделия их реализации, привязывается к структуре функциональной и логистической;
- статистическая информация – перечень информации о всех технических воздействиях на изделие в течение

ние его жизненного цикла, расположенной в хронологическом порядке;

- прогнозная информация – результат анализа поступающих данных от эксплуатанта в организацию-изготовитель для определения поведения изделия в различных условиях эксплуатации.

ФУНКЦИИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА

- ЦД позволяет разработчикам наблюдать за работой виртуального объекта, чтобы лучше понять, как оптимизировать работу физического объекта.
- ЦД помогает спрогнозировать, как физическое изделие (реальный объект) будет работать в различных условиях эксплуатации, в том числе при возникновении нештатных ситуаций.
- ЦД позволяет собирать данные о физическом объекте и, используя инструменты предиктивной аналитики, делать прогнозы относительно состояния этого объекта, определять сроки и объемы проведения ему технических воздействий;
- ЦД позволяет определять неисправности удаленным доступом и выполнять дистанционное прогнозирование сроков и объемов необходимых работ
- ЦД, основанные на моделировании физических процессов изделий, предоставляют данные, которые невозможно получить непосредственно на физическом объекте, что может использоваться в качестве инструмента для устранения неполадок в существующих изделиях и оптимизировать конструктивные изменения (доработки) их последующих поколений.
- ЦД отображает логистическую структуру изделия, что позволяет держать на контроле конкретное изделие, отслеживая местонахождение и статус.
- ЦД содержит связанную с логистической структурой изделия его функциональную структуру, обеспечивает прослеживание протекающих процессов, отображение и анализ функционала изделия либо системы / подсистемы.
- ЦД содержит в себе информацию об изделиях, сроках, объемах и порядке выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту, что позволяет спланировать потребность в необходимых количествах и номенклатуре материальных средств.

В результате внедрения и использования цифрового двойника каждый из участников эксплуатации получает свои плюсы:

Для изготовителей и поставщиков изделий:

- единая цифровая среда в рамках выполнения проекта;
- изготовление цифровых двойников для прохождения испытаний и удешевления изготовления образца, за счет прогнозирования возможных недостатков на этапе из-

готовления опытных образцов методом цифровой симуляции;

- использование цифровых двойников для определения ресурса работы и предельной наработки;
- использование цифрового двойника для получения предельных показателей, при которых изделие будет работать в нормальном режиме;
- использование цифрового двойника для расчета и определения количества расходных материалов, сил и средств обслуживания;
- использование цифрового двойника для разработки цифровых комплектов документации (конструкторской, эксплуатационной; ремонтной) ;
- разработка цифровой электронной документации, связанной с цифровой копией изделия, электронная эксплуатационная документация, включая (ИЭТР).

Для эксплуатантов:

- использование электронной документации в ходе технического обслуживания и ремонта техники, в том числе использование цифровой подписи для несения ответственности и контроля;
- использование ЦД для планирования обслуживания и ремонта изделия;
- использование ЦД для достижения целей в рамках поставленной задачи;
- использование ЦД для выявления предельных ограничений работы изделия в рамках поставленной задачи эксплуатантом;
- использование ЦД для прогнозирования будущих отказов и выхода из строя изделия в целом;
- использование ЦД, как метод определения повреждений и планирования их устранения;
- использование ЦД для снижения экономических и финансовых затрат в результате планирования технического обслуживания изделия в ходе эксплуатации;
- использование ЦД изделия для обучения эксплуатирующего и обслуживающего персонала.

ВЫВОДЫ

Основной целью применения цифрового двойника изделия на этапе эксплуатации является повышение эффективности и надежности работы изделия за счет возможности прогнозирования его работы и планирования необходимых материальных и финансовых средств для поддержания изделия в готовности к использованию по назначению [9, 10, 11].

Основные задачи, которые решаются с помощью метода технической эксплуатации изделия на основе цифрового двойника:

- повышение надежности и качества работы изделия;
- увеличение ресурса изделия за счет увеличения наработки при своевременном проведении технического

- обслуживание по состоянию (в отличие от технического обслуживания по наработке);
- прогнозирование повреждений элементов и узлов изделия, снижение числа аварийных ситуаций в ходе эксплуатации;
- повышение эффективности использования изделия с применением индивидуальных рекомендаций по режимам его работы;
- повышение уровня технического обслуживания и ремонта изделия в ходе эксплуатации через планирование обеспечения и своевременную доставку необходимых запасных частей для сокращения времени нахождения изделия в ремонте;
- формирование направлений модернизации (доработки) изделия за счет отработки технических решений в виртуальном пространстве.

Список использованных источников и литературы

1. Grieves M. Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication [Electronic resource]. 2015. URL: https://www.researchgate.net/publication/275211047_Digital_Twin_Manufacturing_Excellence_through_Virtual_Factory_Replication (date of access: 25.10.2022).
2. Щекочихин О.В. Современные тенденции управления киберфизическими системами на основе цифровых двойников // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2021. № 5 (63). С. 33–37.
3. Евгеньев Р.А. Анализ методов создания цифровых моделей зданий и сооружений на основе аддитивных технологий // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2022. № 1 (65). С. 38–43.
4. Tao F., Zhang M., Nee A.Y.C. Digital Twin Driven Smart Manufacturing. Academic Press, 2019. 282 p.
5. Grieves M., Vickers J. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems (Excerpt) [Electronic resource] // Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems: New Findings and Approaches / ed.F.J. Kahlen, Sh. Flumerfelt, A.C. Alves. Springer, 2017. Pp. 85–113. DOI: 0.1007/978-3-319-38756-7_4 (date of access: 25.11.2022).
6. Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности: краткий доклад (сентябрь 2019 г.) / А.И. Боровков, А.А. Гамзикова, К.В. Кукушкин, Ю.А. Рябов. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. 62 с.
7. Glaessgen E. H, Stargel D.S. The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles [Electronic resource] // Paper for the 53rd Structures, Structural Dynamics and Materials Conference. 2012. DOI: 10.2514/6.2012-1818 (date of access: 25.11.2022).
8. DigitalTwin [Electronic resource] // Siemens. URL: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/glossary/digital-twin/24465> (date of access: 25.11.2022).
9. Брук П.А. Цифровые двойники, основанные на симуляции мульти физических процессов // САПР и графика. 2019. № 7 (273). С. 24–26.
10. DigitalTwin [Electronic resource] // Sodislab. URL <https://www.sodislab.com/ru/digitaltwin> (date of access: 25.11.2022)
11. DigitalTwin [Electronic resource] // Ntcenter. URL <https://ntcenter.spbstu.ru/article/gost-cd>утвержден (date of access: 25.11.2022).
12. DigitalTwin [Electronic resource] // Academic. URL https://normative_reference_dictionary.academic.ru/85773 (date of access: 25.11.2022).
13. DigitalTwin [Electronic resource] // Strategy24. URL <https://strategy24.ru/tundrino/news/tsifrovoy-dvoynik> (date of access: 25.11.2022).

APPLICATION OF THE DIGITAL TWIN IN THE OPERATION OF AVIATION EQUIPMENT

Rakhmanov M.L., Doctor of Technical Sciences, Professor, Department 104 “Technological Design and Quality Management”, Moscow Aviation Institute

Vasilenko G.V., Candidate of Technical Sciences, Director of CBE Mobile Systems Development, LLC “Project-Technika Corporation”.

Shishkin A.V., postgraduate student of department 104 “Technological Design and Quality Management”, Moscow Aviation Institute

With the development of Industry 4.0, the issue related to standardization and introduction into production or operation of modern information technologies is extremely important, the need to develop standards and formalized approaches and methods for effective operation or maintenance of complex high-tech products is increasing.

In this regard, the article considers the experience of foreign organizations in applying the “digital twin” technology and functional with the structure of the products of complex high-tech equipment, as well as the vision of the order (ways) of implementation of this issue by various foreign companies. A decomposed structure of the digital twin of the product is formed and described. The main functions and structures of digital twins of products in operation are analyzed. The main tasks to be solved by the digital twin, both for the manufacturer and for the operating organization, are formulated.

Keywords: quality, standards, formalization, product structure, digital twin, efficiency and reliability.

References

1. Grieves M. Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication [Electronic resource]. 2015. URL: https://www.researchgate.net/publication/275211047_Digital_Twin_Manufacturing_Excellence_through_Virtual_Factory_Replication (date of access: 25.10.2022).
2. Shchekochikhin O.V. Modern trends of cyber-physical systems management on the basis of digital twins // Information-economic aspects of standardization and technical regulation. 2021. № 5 (63). Pp. 33–37
3. Eugeneev R.A. Analysis of methods of creating digital models of buildings and structures on the basis of additive technologies // Information and economic aspects of standardization and technical regulation. 2022. № 1 (65). Pp. 38–43.
4. Tao F., Zhang M., Nee A.Y.C. Digital Twin Driven Smart Manufacturing. Academic Press, 2019. 282 p.
5. Grieves M., Vickers J. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems (Excerpt) [Electronic resource] // Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems: New Findings and Approaches / ed.F.-J. Kahlen, Sh. Flumerfelt, A.C. Alves. Springer, 2017. Pp. 85–113. DOI: 0.1007/978-3-319-38756-7_4 (date of access: 25.11.2022).
6. Digital TWINS in High-Tech Industry: Summary Report (September 2019) / A.I. Borovkov, A.A. Gamzikova, K.V. Kukushkin, Y.A. Ryabov. – SPb: POLYTEKH-PRESS, 2019. 62 c.
7. Glaessgen E. H, Stargel D.S. The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles [Electronic resource] // Paper for the 53rd Structures, Structural Dynamics and Materials Conference. 2012. DOI: 10.2514/6.2012-1818 (date of access: 25.11.2022).
8. DigitalTwin [Electronic resource] // Siemens. URL: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/glossary/digital-twin/24465> (date of access: 25.11.2022).
9. Brooke P.A. Digital twins based on simulation of multi-physical processes // CAD and graphics. 2019. № 7 (273). C. 24–26.
10. DigitalTwin [Electronic resource] // Sodislab. URL <https://www.sodislab.com/ru/digitaltwin> (date of access: 25.11.2022)
11. DigitalTwin [Electronic resource] // Ntcenter. URL <https://ntcenter.spbstu.ru/article/gost-cd> (date of access: 25.11.2022)
12. DigitalTwin [Electronic resource] // Academic. URL https://normative_reference_dictionary.academic.ru/85773 (date of access: 25.11.2022).
13. DigitalTwin [Electronic resource] // Strategy24. URL <https://strategy24.ru/tundrino/news/tsifrovoy-dvoynik> (date of access: 25.11.2022).