

Е.А. Комина, О.В. Филина

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева

Казань, Россия

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ КАК ИНСТРУМЕНТ ПРЕДИКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ И УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ В АВИАСТРОЕНИИ

***Аннотация.** В данном исследовании раскрывается потенциал использования цифровых двойников для повышения эффективности управления качеством и обеспечения безопасности в авиационной отрасли. Выявлены основные экономические, социальные и экологические выгоды применения цифровых двойников в авиастроении.*

E.A. Komina, O.V. Filina

KNRTU-KAI named after A.N. Tupolev

Kazan, Russia

DIGITAL TWINS AS A TOOL FOR PREDICTIVE QUALITY MANAGEMENT AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN THE AIRCRAFT INDUSTRY

***Abstract.** This study reveals the potential of using digital doubles to improve the effectiveness of quality management and safety in the aviation industry. The main economic, social and environmental benefits of using digital twins in the aircraft industry have been identified.*

В авиастроении качество и безопасность продукции имеют первостепенное значение, что делает эту сферу одной из самых технологически сложных в современной экономике. Однако классические подходы к контролю качества сегодня достигают своих пределов, особенно на фоне ужесточающихся экологических норм и стандартов безопасности воздушных судов.

Технология цифровых двойников создает виртуальные копии реальных производственных процессов, оборудования и целых систем. Благодаря непрерывному потоку информации от IoT-устройств и сенсорных систем эти виртуальные модели синхронизируются с физическими объектами в реальном времени. Такой подход модернизирует управление качеством в авиации, позволяя прогнозировать возможные проблемы, минимизировать время незапланированных остановок производства и эффективнее управлять всеми этапами эксплуатации авиационного оборудования.

Основная цель исследования заключается в анализе возможностей использования технологии виртуальных прототипов для прогнозирования и контроля качественных показателей в сфере производства авиационной техники. В рамках достижения поставленной цели необходимо решить следующий комплекс задач: изучить принципы и природу цифровых двойников применительно к системам контроля качества; провести оценку текущего опыта использования данных технологий в авиационном производстве; выявить основные выгоды и практические эффекты от интеграции технологии с точки зрения обеспечения надежности и безопасности продукции; разработать практические предложения по интеграции виртуальных прототипов в существующую систему менеджмента качества.

Цифровой двойник представляет собой детализированную виртуальную модель реального объекта, отражающую все его характеристики и параметры. Постоянное поступление информации, собранной в ходе практических испытаний, обеспечивает актуализацию этой модели. Благодаря этому цифровому представлению возможно предсказывать поведение изделия на протяжении всего срока его использования с высокой точностью [1].

В структуру такой технологии входят: физический объект, оснащённый сенсорами интернета вещей, математическая компьютерная модель, механизмы агрегации информации, аналитическая платформа для обработки данных и пользовательские интерфейсы, обеспечивающие контроль и выработку управленческих решений. Применение подобных виртуальных реплик в авиационной промышленности значительно повышает эффективность контроля качества, построенного на принципах цикла планирования-выполнения-проверки-корректировки. Это достигается благодаря постоянному отслеживанию показателей качества, возможности прогнозировать потенциальные дефекты ещё до их возникновения, проведению компьютерных операций, синтезу информации со всех стадий существования изделия и формированию объективных оценок качества, базирующихся на фактических данных.

Современная структура цифровой системы контроля качества, построенная на технологии цифровых двойников, представляет собой четырехуровневую модель:

На начальном этапе информация собирается через сеть датчиков и технологии IoT, после чего передаётся по защищённым каналам связи в облачные системы хранения.

Следующая ступень предполагает формирование виртуальных копий объектов и их постоянную актуализацию за счет систем автоматизированного проектирования и технологий машинного обучения, что повышает точность цифровых моделей.

Третий этап включает обработку информации и построение прогнозов с применением алгоритмов искусственного интеллекта и технологий Big Data, что позволяет заблаговременно выявлять потенциальные проблемы.

На последнем этапе внедряются умные панели управления (дашборды), которые помогают руководителям быстрее принимать правильные решения. Также происходит связь с MES-системами (программными комплексами для управления и контроля производственных процессов на предприятии).

Инновационным становится внедрение технологий машинного обучения и искусственного интеллекта. Они позволяют обнаруживать неисправности и прогнозировать сбои с точностью, которую тяжело достичь классическими способами.

Технологии виртуальной и дополненной реальности расширяют возможности специалистов при работе с цифровыми двойниками. С помощью них обеспечивается более эффективное взаимодействие. В авиационной промышленности традиционно преобладает субъективный подход к определению качественных характеристик, однако внедрение технологии цифровых двойников способствует объективизации данного процесса. Современные самовосстанавливающиеся системы достигли уровня, когда они могут в автоматическом режиме исправлять выявленные несоответствия без задержек, выходя за рамки простого прогнозирования. Экологическая составляющая также учитывается благодаря моделям устойчивого развития, которые дают возможность заранее оценивать и снижать негативное воздействие на окружающую среду, контролируя параметры потребления топлива и вредных выбросов.

Процесс интеграции виртуальных моделей включает последовательные стадии: начальную фазу с анализом производственных процессов и подготовкой команды, запуск тестовых инициатив с подключением интернета вещей и настройкой параметров моделей, этап расширения охвата с синхронизацией систем управления производством и ресурсами предприятия, а также непрерывное развитие через регулярные проверки и освоение передовых решений.

На данный момент уже есть прецеденты создания цифровых двойников. Инжиниринговая команда Центра компьютерного инжиниринга CompMechLab успешно реализовала проект,

направленный на создание методики уменьшения веса авиационного двигателя ТВ7-117СТ-01, применяя инновационную технологию цифровых двойников. Благодаря использованию современных цифровых моделей специалисты смогли разработать эффективные рекомендации, способствующие снижению массы силовой установки. При создании виртуальной модели газотурбинного двигателя изначально планировалось уменьшить вес неподвижных компонентов всего на 10%. Но за счет детальной проработки каждого элемента в отдельности удалось добиться гораздо лучших результатов – некоторые детали стали легче почти в два раза. При этом все компоненты сохранили необходимую надёжность, срок службы и полностью соответствуют заданным техническим параметрам [2].

Инженеры из SMU (Southern Methodist University) разработали передовую цифровую модель человека, используя возможности искусственного интеллекта и технологий виртуальной реальности, чтобы повысить стандарты контроля качества в аэрокосмической отрасли. Эта разработка представляет собой виртуального оператора, который имитирует поведение человека в производственных условиях, сочетая интеллектуальные системы для оценки качества, обнаружения рисков и сбора аналитических данных. Один из разработчиков подчеркнул, что в аэрокосмическом производстве до 80% проверок качества зависят от субъективной оценки специалистов. Использование цифрового двойника существенно улучшает производительность работников, снижая риск допущения ошибок в рутинных задачах. Например, если специалист упускает момент затяжки одного из болтов на истребителе, искусственный интеллект быстро обнаружит пропуск и сразу оповестит об этом [3].

Социальный эффект внедрения цифровых двойников заключается в том, что авиационная отрасль получает значительные преимущества в области безопасности и комфорта персонала. С финансовой точки зрения использование цифровых двойников позволит сократить эксплуатационные расходы, что способствует укреплению рыночных позиций компаний. Также это позволит компаниям предоставлять дополнительные вакансии в сфере цифровых технологий. Экологическая составляющая выражается в рациональном использовании материалов и энергоносителей, так как минимизируется объём промышленных отходов и расход горючего, продлевается эксплуатационный период деталей, а выхлопы сокращаются посредством совершенствования траекторий движения и аэродинамических параметров, что вписывается в концепцию устойчивого роста.

Будущее технологии охватывает внедрение блокчейн-решений, обеспечивающих достоверность информации, формирование единых виртуальных платформ для совместного развития и обмена опытом, а также расширение возможностей систем автоматического восстановления и оптимизации контроля качества авиационной продукции на протяжении всего эксплуатационного периода.

Реализация требует формирования такого подхода к цифровой трансформации, где приоритет отдается экспериментальным внедрениям, обучению сотрудников, обеспечению совместимости с действующей инфраструктурой, установлению сотрудничества с научными и IT-компаниями, систематическому контролю эффективности и последующему масштабному распространению технологий цифрового моделирования.

Внедрение технологии цифровых двойников открывает широкие возможности для авиационной промышленности: сокращение производственных затрат, обеспечение экологической устойчивости сектора, а главное – гарантируемый более высокий уровень безопасности и долговечности авиационной техники благодаря прогнозированию параметров качества на этапе проектирования.

Список использованных источников

1. Алиев, З. А. «Цифровой двойник» как средство прогнозирования технического состояния авиационной техники / З. А. Алиев, Н. И. Зайцев, А. С. Фимушин // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества: Сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию отечественной гражданской авиации, Москва, 18-19 мая 2023 года. – Москва: ИД Академии имени Н. Е. Жуковского, 2023. – С. 427-429.

2. Цифровой двойник первого уровня авиационного двигателя. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://nticenter.spbstu.ru/nti_projects/31.

3. Исследователи SMU изучают цифровые двойники и ИИ для аэрокосмического производства. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.appercase.ru/news/83133/>.