

Саитов Данил Раилевич, бакалавр
Уфимский университет науки и технологий

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Аннотация. Рассматриваются возможности применения цифровых двойников для мониторинга состояния технологического оборудования. Определены основные элементы архитектуры решения, источники данных, способы синхронизации виртуальной и физической моделей, а также проблемы интеграции цифрового двойника с производственными информационными системами. Предложен поэтапный подход к внедрению технологии на предприятии

Ключевые слова: Цифровой двойник, мониторинг, производство, датчики, моделирование, техническое состояние

Введение

Цифровизация промышленности приводит к тому, что управление технологическим оборудованием все в большей степени опирается на данные, получаемые непосредственно в процессе эксплуатации. Для традиционного подхода характерно разделение этапов проектирования, производства, технического обслуживания и анализа отказов. Цифровой двойник позволяет связать физический объект с его цифровым представлением и использовать единый информационный контур для наблюдения за объектом на протяжении жизненного цикла.

ISO 23247-1:2021 устанавливает общие принципы рамочной модели цифрового двойника для производства [1]. В 2026 году были опубликованы документы, посвященные цифровой нити и композиции нескольких цифровых двойников [2, 3]. Это показывает, что технология развивается от локальной модели отдельного объекта к интероперабельной производственной среде.

Архитектура цифрового двойника

Практическая система мониторинга может быть представлена четырьмя уровнями: физический объект; средства измерения; контур сбора и предварительной обработки данных; цифровая модель с аналитическими функциями. На физическом уровне располагается станок, насос, электродвигатель или другой агрегат. Датчики регистрируют температуру, вибрацию, давление, ток, положение и другие параметры.

Для мониторинга важно не максимальное количество измерений, а их соответствие задаче. Например, для оценки состояния подшипника полезны вибрационные характеристики и температура, тогда как для электродвигателя дополнительно важны ток, напряжение и скорость вращения. Избыточный сбор данных увеличивает нагрузку на сеть и хранилище, но не обязательно повышает качество диагностики.

Цифровая модель должна содержать не только геометрическое описание. Для технического мониторинга важны эксплуатационные характеристики, допустимые режимы, история ремонтов и связи с другими компонентами производства. Поэтому цифровой двойник следует рассматривать как изменяемую информационную модель объекта, а не как статичную копию.

Синхронизация физического и цифрового объектов

Ключевым процессом является синхронизация. Измерения должны проходить проверку качества: выявление пропусков, выбросов, ошибок датчиков и несогласованности временных меток. Только после этого данные целесообразно использовать в диагностических расчетах.



Для простых задач достаточно порогового контроля. Более сложный вариант предполагает модель нормального состояния оборудования, учитывающую нагрузку и режим работы. Тогда отклонение определяется не относительно одного фиксированного порога, а относительно ожидаемого поведения объекта.

ISO 23247-5:2026 рассматривает цифровую нить, обеспечивающую создание, соединение, управление и сопровождение цифровых двойников на протяжении жизненного цикла [2]. Практически это означает необходимость сохранять происхождение данных: источник, время измерения и примененные преобразования должны быть прослеживаемыми.

Применение для технического обслуживания

Одним из перспективных направлений является переход от периодического обслуживания к обслуживанию по фактическому состоянию. Если цифровой двойник получает данные о нагрузке, температуре, вибрации и истории эксплуатации, он может использоваться для оценки состояния узлов и формирования рекомендаций по техническому обслуживанию.

Цифровой двойник не должен считаться самостоятельным источником истины. Качество рекомендаций зависит от датчиков, исторических данных и корректности модели. Для критического оборудования автоматическое решение о выводе объекта из эксплуатации должно дополняться инженерной проверкой.

Преимущество технологии состоит в возможности проверять изменения режима в виртуальной модели, а затем сопоставлять расчет с реальными данными. Это снижает число экспериментов на работающем оборудовании и создает основу для обоснованного планирования ремонта.

Проблемы внедрения

Основной проблемой является неоднородность производственной инфраструктуры: новое оборудование может работать рядом со станками предыдущих поколений. Поэтому цифровой двойник часто выполняет роль интеграционного слоя между разными источниками данных.

Вторая проблема связана с информационной безопасностью. NIST в актуализированных рекомендациях по IoT подчеркивает необходимость учитывать кибербезопасность на всем жизненном цикле продукта, включая обслуживание и завершение поддержки [4]. Для промышленной системы это означает разграничение доступа, контроль обновлений и защиту каналов передачи данных.

Третья проблема – организационная. Необходимо определить ответственных за данные, модели и правила их использования. Без этого даже технически корректная система постепенно теряет актуальность.

Практический подход к внедрению

Рациональным является поэтапное внедрение. Сначала выбирается один объект и конкретная задача, например контроль состояния электродвигателя. Затем определяются параметры, устанавливаются датчики, создается минимальная цифровая модель и настраивается поток данных. После накопления статистики можно переходить к диагностическим алгоритмам.

Далее цифровой двойник интегрируется с системой технического обслуживания. События диагностики связываются с заявками на осмотр, замену узлов или планирование ремонта. После подтверждения эффективности пилота подход масштабируется на группу однотипных объектов.

Критерием эффективности следует считать не количество визуализируемых показателей, а производственный результат: снижение незапланированных простоев, уменьшение аварийных ремонтов, повышение коэффициента готовности или сокращение времени поиска неисправностей.



Заключение

Цифровой двойник является перспективным инструментом технического мониторинга, объединяющим данные датчиков, модели оборудования и производственный контекст. Его применение позволяет перейти от разрозненного наблюдения за параметрами к системному анализу состояния объекта.

Наиболее рационально начинать с одного оборудования и одной измеримой задачи. При этом технические решения должны сопровождаться требованиями к качеству данных, кибербезопасности и ответственности за актуальность цифровой модели. Развитие ISO 23247 показывает, что дальнейший прогресс связан с интероперабельностью и объединением нескольких цифровых представлений

Список литературы:

1. ISO 23247-1:2021. Automation systems and integration – Digital twin framework for manufacturing – Part 1: Overview and general principles. – ISO, 2021.
2. ISO 23247-5:2026. Automation systems and integration – Digital twin framework for manufacturing – Part 5: Digital thread for digital twin. – ISO, 2026.
3. ISO 23247-6:2026. Automation systems and integration – Digital twin framework for manufacturing – Part 6: Digital twin composition. – ISO, 2026.
4. Fagan M., Megas K., Cuthill B., Marron J., Hoehn B. Foundational Cybersecurity Activities for IoT Product Manufacturers. NISTIR 8259r1. – NIST, 2026.
5. Vogl G., Cornelius A., Jia X. 2026 Roadmap on Artificial Intelligence and Machine Learning for Smart Manufacturing. – IOP Publishing, 2026

