**Разработка цифрового двойника центра молодежного инновационного творчества ТГУ как элемент повышения качества функционирования**

**Полякова Арина Сергеевна**

*Факультет инновационных технологий, кафедра управление качеством, Томский Государственный Университет, город Томск, Россия*

**Аннотация**

Данная работа посвящена изучение цифрового двойника и как он может повысить функционирование центра.

Создание цифровых двойников – это процесс, который подразумевающий разработку информационной модели проекта/продукта/процесса, т.е. программного двойника физического объекта и работу с ним, путем моделирования внутренних процессов, технических характеристик и поведения реального объекта под внешними воздействиями и средой, или служит прототипом будущего объекта.

Моделирование поведения цифрового двойника в условиях производства позволяет оценить в виртуальном пространстве изменение состояния и характеристик всего изделия при изменении характеристик любого из его элементов, что позволяет в реальном времени управлять факторами, влияющими на стоимость и качество изделия еще до начала его производства. Получение такой оценки в виртуальном пространстве значительно ускоряет время вывода на рынок новой продукции.

Важной особенностью жизненного цикла цифрового двойника является возможность сравнения информации от виртуальных датчиков цифрового двойника с датчиками реального устройства, работающими параллельно, для выявления отклонений и причин их возникновения, рисков сбоев и усовершенствования технологических процессов производства и это является самым главным плюсом и развитием компании за счет цифровых двойников.

**Ключевые слова:** цифровой двойник, повышение качества, услуги, центры, влияние на качество, технологии, инновации, функционирование.

**1.Введение**

Сегодня цифровые двойники — одна из популярных тем. Ей посвящено множество зарубежных и отечественных публикаций.

Концепция цифрового двойника была предложена профессором Мичиганского университета Майклом Гривсом (Michael Grieves) еще в 2002 г. Как он отмечает в своей работе, первоначально она называлась «моделью зеркальных пространств». Там же можно найти определение цифрового двойника от Гривса: «Цифровой двойник представляет собой набор виртуальных информационных конструкций, который полностью описывает потенциальное или фактическое промышленное изделие: от его атомарных функций до геометрии. В идеальных условиях вся информация, которую можно получить от изделия, может быть получена от его цифрового двойника».

В более ранней публикации Гривс предложил менее абстрактное определение. По его словам, цифровой двойник «содержит три основные части:

1. физический продукт в реальном пространстве,
2. виртуальный продукт в виртуальном пространстве и
3. данные и информацию, которые объединяют виртуальный и физический продукт».

Таким образом, цифровой двойник можно определить, как компьютерный прообраз какого-либо объекта реального мира. В качестве такого объекта может выступать, например, все промышленное предприятие с его производственными линиями, конкретный экземпляр изделия или отдельный технологический процесс. Чем точнее цифровой двойник описывается в компьютерной среде, тем больше он соответствует своему реальному прототипу.

Из-за особенностей восприятия человеку ближе такая реализация цифрового двойника, в которой в первую очередь можно получить визуальное представление объекта-прообраза и только потом переходить к другим его «физическим» свойствам, таким как реакция на внешние воздействия, условия эксплуатации, естественные процессы старения и т. п.

Для объединения в двойнике всех этих свойств принято использовать:

1. решение для создания графической цифровой 3D-модели объекта, разработанной с применением CAD-систем инженерного проектирования;
2. решения, обеспечивающие получение реальных данных от прообраза на базе технологии промышленного «Интернета вещей» (IIoT);
3. интегрированные математические модели — инструменты, обеспечивающие «поведение» цифрового двойника в соответствии с поведением его прообраза (к ним относятся CAE-системы для инженерных расчетов);
4. различные технологии визуализации.

Таким образом, цифровой двойник — это симбиоз технологий PLM и IIoT, который мы воспринимаем как реальный объект.

**2 Структура центра молодежного инновационного творчества (ЦМИТ)**

Центр молодежного инновационного творчества (ЦМИТ), это то место, где студенты и школьники смогут бесплатно обучаться работе на высокотехнологичном оборудовании. ЦМИТ «Интеллект».

ЦМИТ «Интеллект» представляет из себя лабораторную площадку, наполненную высокотехнологичным оборудованием и инструментом. На базе, которой можно осуществить как учебные проекты, так и заниматься техническим творчеством. Площадка укомплектована компьютерным классом для программирования и моделирования, там также возможна как работа с радиоэлектронными компонентами, так и производство с применением ЧПУ-станков.

Смысл центров заключается в том, что в них молодежь имеет возможность опробовать новые технологии, аддитивные технологии и 3Д-проектирование.

Кроме изучения и поддержки молодежного творчества, центр ставит перед собой массовую задачу формирования у молодежи новых компетенций, создания полноценной образовательной программы по аддитивным технологиям для вузов, техникумов, колледжей.

Особенности центра: целевой аудиторией является молодежь, которая обучается в техникумах и вузах, поэтому важна идея, с одной стороны, вовлечь среднюю ступень образования, особенно из техникумов, где студенты не имеют возможность приобщиться к новым технологиям и высокотехнологичным решениям. С другой стороны, привлечь старшеклассников и создать возможность обучения в разновозрастных группах. Вторая особенность ЦМИТ — близость к технологическим компаниям. Третья особенность — в структуру добавили еще и промышленный дизайн.

Организационная структура ЦМИТ «Интеллект» является линейной. Центром руководит директор в подчинение которого находятся 9 работников, из них 4 программиста и 5 инженеров. Директор охватывает все виды деятельности и несет ответственность за все происходящее на предприятии, как за сам производственный процесс, так и за обучение, руководство над студентами и стажерами.

**3 Анализ применимости модели цифрового двойника для ЦМИТ**

**3.1 Цифровой двойник как инструмент повышения качества функционирования организации**

На данный момент технология цифровых двойников применяется на всех этапах моделирования, прогнозирования и оптимизации продукта и доходит до систем производства. Цифровые двойники позволяют смоделировать и оценить влияние изменений требований, сценариев использования, технологий производства, условий окружающей среды и множества других переменных.

Основные задачи, которые возможно решить с помощью цифровых двойников, могут стать: сокращение времени и затрат на разработку и проектирование инновационного оборудования, снижение количества испытаний (замена их виртуальными испытаниями, в том числе переход на цифровую сертификацию), формирование научно-технического задела за счет отработки технического решения в виртуальном пространстве, ускорение реакции на проблемы или дефект [2].

В рамках реализации проектов по созданию единого информационного пространства на предприятиях создаются цифровые двойники изделий и промышленных объектов.

Цифровой двойник изделия включает в себя всё его описание:

1. 3D-модели, создаваемые инструментами CAD;
2. модели систем, используемые решениями для системного проектирования сложных изделий;
3. спецификации материалов (BOM);
4. 1D-, 2D- и 3D-модели для расчетов и анализа с помощью CAE-систем;
5. встроенное программное обеспечение, разрабатываемое и тестируемое с помощью средств ALM;
6. электронная часть проекта.

Результатом использования этих элементов становится комплексная компьютеризированная модель, которая обеспечивает почти 100% виртуальную валидацию и тестирование проектируемого изделия. Все эти элементы нужны для разработки, улучшения качества изделия и обеспечения возможности быстрого внесения изменений в ответ на пожелания клиентов.

На базе цифрового двойника изделия создаётся эксплуатационный цифровой двойник, обеспечивающий с учётом применения соответствующего программного обеспечения возможность извлекать и анализировать данные об их реальной производительности и использовании изделий в процессе эксплуатации. Анализ первичных данных может давать полезную информацию и новые инженерные решения, и идеи. В результате эту информацию можно использовать при сопровождении/создании цифрового двойника изделия и цифрового двойника производства - это необходимо для оптимизаций изделий, производственных систем и процессов в следующем цикле создания инновационной продукции.

Цифровой двойник производства обеспечивает гибкость и помогает уменьшить время выполнения технологических процессов, сократить сроки подготовки производства, а также проектирования производственных участков и цехов с установленным оборудованием.

Двойник работает в три этапа: видеть, думать и делать. На примере рассмотрен цикл поведения двойника одной технологической единицы. На стадии «видения» речь идет о получении данных в какой-то ситуации. Данная информация двух видов: эксплуатационные данные (например, температура кипения или любые другие внутренние факторы).

Следующим шагом является «думать», связан с тем, что на этом этапе цифровой двойник анализирует полученную информацию и принимает решение, соответствующее заданными технико-экономическим параметрам, статистическим данным и условиям безопасно эксплуатации объекта. В некоторых случаях прорабатываются несколько вариантов и финальный выбор остается за руководителем.

Третий шаг – «делать», связан непосредственно с реализацией того, что нужно сделать. Цифровой двойник на этом этапе отвечает за дальнейший ход рабочего цикла объекта – контролирует состояние каждого узла и системы целиком, при этом распоряжаюсь их работой. На производстве не обязательно видеть перед собой, к примеру, всю турбину целиком, для того чтобы выявить проблемы в реальном времени с помощью компьютерной визуализации. Получая информацию о нарушении работе производства, искусственный интеллект в рамках цифрового двойника принимает соответствующее решение о самостоятельной нейтрализации неисправности или необходимости вмешательства человека. Вывод информации для работника осуществляется посредством простого API.

Цели и содержание технологии цифровых двойников выражаются в шести факторах, приведенных ниже:

Совокупность документов цифрового двойника можно рассматривать как электронный паспорт изделия, в котором фиксируются все данные о сырье, материалах, произведенных операциях, испытаниях и лабораторных исследованиях. Это значит, что вся информация, начиная с чертежей и технологии производства и заканчивая правилами техобслуживания и утилизации, будет оцифрована и доступна для считывания устройствами и людьми. Такой принцип позволяет отслеживать и гарантировать качество продукции, обеспечивать ее эффективное обслуживание на всём этапе жизненного цикла.

Современные технологии дают возможность построить цифровые двойники абсолютно любых производственных активов, будь то нефтеперерабатывающий завод или логистическая компания. В будущем эти технологии позволят удаленно управлять всем производственным процессом в режиме реального времени. Идеальная работа цифрового двойника предполагает минимальное участие человека во всех вышеперечисленных процессах.

 Помимо объединения разрозненных цифровых технологических решений, метод цифровых двойников позволяет выстроить математическую зависимость между отдельными составляющими виртуальной модели объекта.

Главной задачей цифрового двойника является предоставление возможности в реальном времени управлять всеми факторами, влияющими на стоимость и качество продукта ещё до начала его производства. Параллельной задачей той же технологии можно обозначить выявление дефектов в работе объекта прежде, чем они приведут к губительным последствиям. Оно осуществляется в рамках комплексов «краевой аналитики» (Edge Analytics) – одной из составляющих цифрового двойника. Например, обнаружение серьезного дефекта пути впереди идущего поезда позволит их совместному цифровому двойнику смоделировать ситуацию крушения и безопасно остановить состав. ИИ, связанный с набором датчиков, имеет возможность обнаружить подобную проблему гораздо раньше человеческого глаза.

Тот же принцип взаимозависимости элементов системы соблюдается и при составлении двойника целого производственного цикла, например, при определении необходимого количества и оптимального расположения оборудования в зависимости от объёма и номенклатуры выпускаемых изделий.

Говоря об объединении всех цифровых промышленных технологий под началом цифровых двойников, необходимо упомянуть главное достоинство этой технологии – динамичность во времени, таким образом, цифровой двойник – это виртуальное воспроизведение рабочего состояния реального физического объекта, процесса, системы или целой службы, что является ключевым условием независимого принятия решений. К примеру, цифровой двойник авиадвигателя отражает как его конструктивные особенности, так и реальные характеристики узлов, которые отслеживаются и корректируются в процессе его эксплуатации.

Немаловажной функцией цифрового двойника является наследование данных об изделии при создании его новых модификаций. Другими словами, максимальное использование предыдущего опыта проектирования, изготовления и испытаний при разработке новых изделий.

Еще один значимый аспект – возможность осуществления коллективной работы над изделием территориально удалённых коллективов и инженерных центров. Это позволяет использовать значительно больший научный потенциал и трудовые ресурсы, чем при условно «бумажной» технологии проектирования. Стратегические преимущества технологии цифровых двойников следующие. В этом случае учитываются особенности эксплуатации двигателя и на основании данных, получаемых от цифрового двойника, возможно вместе с авиакомпанией спланировать сроки и объём ремонта двигателя, выполнение профилактических работ на крыле для повышения его характеристик.

Ценность заключается в снижении издержек, связанных с объёмом внеплановых гарантийных ремонтов, фиксации и переноса опыта высококвалифицированных специалистов в электронную систему.

**3.2 Анализ существующих цифровых двойников**

Пример компании General Electric Aviation цифровые двойники самолетов объединяют разные источники данных для повышения скорости обнаружения дефектов и точности ремонта. В итоге в 2016 году это позволило сэкономить 125 млн долл. США.

Основываясь на упомянутой выше технологии Edge Analytics, на первом этапе работы цифрового двойника можно обозначить две его основные функции – считывание информации посредством датчиков и её первичная обработка. Для считывания и первичной обработки информации стандартно используются:

1. видеокамеры высокого разрешения (например, Loсovision); иногда применяются тепловизоры (например, при необходимости обнаружения человека на путях или проверки состояния наливного груза в цистерне), различные датчики температуры, интенсивности света и т.д
2. бортовой компьютер с платами видеозахвата, минимально необходимым объемом памяти для работы с оперативными данными
3. специализированное программное обеспечение (ПО), позволяющее производить замеры расстояния, температуры и прочего на основе полученного изображения;
4. программное обеспечение, высчитывающее возможное отклонение показателей от нормы, принимающее и исполняющее соответствующее решение. Четвертый пункт и представляет собой технологию Edge Analytics. Это программное обеспечение, которое собирает и обрабатывает данные, не отправляя их в облако для оперативного анализа. Он осуществляется «на месте», т.е. на датчике, сетевом коммутаторе и т.д.

Сортируя данные с помощью аналитического алгоритма, созданного «на краю» корпоративной сети, компании могут устанавливать параметры, по которым информация может отправляться в облако или на локальное хранилище данных для последующего использования. Анализ данных сразу в месте их накопления также может уменьшить задержку в процессе принятия решений на подключенных устройствах.

Следует отметить, что накопленная с различных датчиков техническая информация об объекте может значительно упростить и ускорить будущее проектирование его комплектующих – вплоть до полной автоматизации.

Цифровые двойники как один из приоритетных векторов развития цифровизации разрабатываются промышленными конгломератами или независимыми разработчиками, и лишь со временем на основе совместных наработок возможна будет унификация стандартов в данной области в рамках мировой промышленности и/или отдельных государств. Несмотря на то, что на современном этапе различается, и сама структура всех цифровых двойников у различных технологий, обобщенно модельную составляющую можно представить следующим образом.

К примеру, принципы работы с данными, обрабатываемыми ИИ при формировании первоначальной модели следующие. Информация с различных датчиков реального прототипа сводится в единую трехмерную модель, как правило, отображаемую в принятой на предприятии САПР (системе автономного проектирования) или любого ее аналога, разработанного в рамках платформы. Также САПР пользуются инженеры-конструкторы для разработки новых изделий.

**4. Анализ и проектирование возможности автоматизации всех процессов ЦМИТ**

Автоматизация – это, такой закономерный процесс, который участвует в развитии общественного производства. Автоматизация производства на предприятии - самостоятельная комплексная задача. Она обусловлена глобальной конкуренцией. Автоматизация - это процесс развития машинного производства, при котором функции управления и контроля, ранее выполняемые человеком, передаются приборам и автоматическим устройствам.

Цели автоматизации:

1. Повышение производительности и оптимизация использования оборудования;
2. Повышение качества продукции за счет строгого соблюдения технологических;
3. Обеспечение безопасности и улучшение условий труда;
4. Повышение эффективности использования материалов;
5. Снижение трудовых затрат и планомерное увеличение прибыли.

Для решения этих задач требуется современное оборудование и программное обеспечение, а также высококвалифицированные специалисты.

Виды автоматизации:

Частичная (начальная) - предусматривает автоматизацию рабочего цикла машин или использование автомата в автономном режиме, автоматизируется работа отдельных машин и механизмов (в первую очередь автоматизируются основные технологические операции).

Комплексная - это уровень автоматизации производства, при котором весь комплекс операций производственного процесса, включая транспортировку и контроль продукции, осуществляется системой автоматических машин и технологических агрегатов по заранее заданным программам и режимам с помощью различных автоматических устройств, объединенных общей системой управления. Это может быть единый взаимосвязанный комплекс (участок, цех, завод, комбинат, электростанция, птицефабрика и т.д.), в котором предусмотрена комплексная автоматизация операций производственного процесса.

Полная - высший уровень автоматизации, предусматривающий передачу функций управления и контроля за работой сложного автоматизированного производства автоматизированным системам управления. Широко используются системы компьютерной интеграции производства (CIM- Computer Integrated Manufacturing), (TIA- Totally Integrated Automation), которые позволяют унифицировать получение, передачу, использование информации о производстве на всех уровнях с целью получения максимальной эффективности производства. Создаются автоматизированные участки, цеха, заводы с широким использованием микропроцессорной техники и компьютеров, объединенные информационными сетями.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

«Цифровые двойники могут существенно усилить способность предприятий принимать проактивные решения на базе данных, повысить эффективность их деятельности и избавить от потенциальных проблем. Они также могут предоставить возможность безопасным и экономным образом прорабатывать сценарии что-если, то есть по сути дела экспериментировать с будущим».

Зонами наиболее интенсивного роста использования цифровых двойников, являются ресурсоемкие отрасли, такие как промышленное производство, нефтегазовая индустрия, аэрокосмическая и автомобильная промышленности. Очевидно, что решение приведенных проблем, разработка новых параметров и требований к цифровым двойникам по информационной безопасности, является актуальной научной и практической задачей.

Новейшей методикой извлечения предприятиями общей выгоды из цифровой трансформации являются цифровые двойники.

Ценность цифрового двойника на производстве заключается в том, что он предлагает уникальную возможность виртуальной симуляции, валидации и оптимизации всей производственной системы. Это также позволяет проверить, как будет создаваться изделие, со всеми его первичными деталями и подсборками, на основе технологических процессов с помощью производственных линий и систем автоматизации. Помимо этого, цифровой двойник может включать аспекты логистики, что помогает командам планировщиков проектировать эффективные логистические решения для снабжения производственных линий.

Изучив весь материал и примеры существующих двойников, можно сделать выводы что данная технология очень актуальна на данный момент. При ее внедрение компания или организация может выйти на высокий уровень рынка и повысить свою конкурентоспособность.

**Литература**

1. НОЦ "ЦЕНТР МОЛОДЕЖНОГО ИННОВАЦИОННОГО ТВОРЧЕСТВА " ИНТЕЛЛЕКТ" [Электронный ресурс]. – URL: https://fit.tsu.ru/ru/lab/intellect (дата обращения: 22.04.2021).
2. Цифровой двойник на производстве: задачи, вопросы, перспективы [Электронный ресурс]. – URL: http://www.up-pro.ru/library/information\_systems/project/d7fb9dd59e1ffa29.html (дата обращения: 25.04.2021).
3. Цифровые двойники [Электронный ресурс]. – URL: https://ecias.ru/ru/activities/cifrovye-dvoyniki (дата обращения: 26.04.2021).
4. Внедрение цифровых двойников как одно из ключевых направлений цифровизации производства [Электронный ресурс]. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vnedrenie-tsifrovyh-dvoynikov-kak-odno-iz-klyuchevyh-napravleniy-tsifrovizatsii-proizvodstva (дата обращения: 30.04.2021).
5. Прохоров А., Лысачев М. Научный редактор профессор Боровков А. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. Издание первое, исправленное и дополненное. – М.: ООО «АльянсПринт», 2020. – 401стр., ил.
6. Процессный подход к управлению [Электронный ресурс]. – URL: https://rich-c.ru/ (дата обращения: 01.05.2021).
7. Услуги [Электронный ресурс]. – URL: http://cmit-superlab.ru/uslugi/ (дата обращения: 03.05.2021).
8. Автоматизация производства [Электронный ресурс]. – URL: http://opiobjektid.tptlive.ee/Automatiseerimine/4\_\_.html (дата обращения: 04.05.2021).
9. Как цифровые двойники помогают российской промышленности [Электронный ресурс]. – URL: https://rb.ru/longread/digital-twin/ (дата обращения: 06.05.2021).
10. Цифровые двойники: понятие, типы и преимущества для бизнеса [Электронный ресурс]. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovye-dvoyniki-ponyatie-tipy-i-preimuschestva-dlya-biznesa?gclid=EAIaIQobChMI0fSqmbLG7gIVxRV7Ch0rrwu5EAMYASAAEgL5O\_D\_BwE (дата обращения: 10.05.2021).
11. Цифровые двойники: 5 примеров из практики непроизводственных компаний [Электронный ресурс]. – URL: https://nfp2b.ru/2020/11/18/tsifrovye-dvojniki-5-primerov-iz-praktiki-neproizvodstvennyh-kompanij/ (дата обращения: 15.05.2021).
12. Siemens - Electrical Digital Twin [Электронный ресурс]. – URL: https://new.siemens.com/global/en/products/energy/energy-automation-and-smart-grid/electrical-digital-twin.html?gclid=EAIaIQobChMI1Z3m0bTG7gIVhtCyCh030g4DEAAYASAAEgJPV\_D\_BwE (дата обращения: 20.05.2021).