

Цифровые двойники в промышленности: истоки концепции, современный уровень развития и примеры внедрения

Денис Хитрых (АО «КАДФЕМ Си-Ай-Эс»)

В статье описывается концепция цифровых двойников в промышленности. Рассматривается их современный уровень развития и приводятся различные примеры успешного внедрения таких цифровых двойников.

В 2022 году грядёт новый этап развития цифровых технологий. Он обещает нам создание интерфейсов, обладающих эмоциональным интеллектом и когнитивными способностями. Это, несомненно, повлияет на бизнес, только пока неизвестно, как. Тренды меняются непредсказуемым образом. И зачастую самые захватывающие возможности лежат на пересечении нескольких трендов. Например, цифровые двойники представляют собой высшую степень развития вычислительных ресурсов, когнитивных моделей, встроенных датчиков и т.д. То есть цифровые двойники – это тренд развития технологий, в основе которого лежит сразу несколько самостоятельных передовых и всё ещё развивающихся технологий.

Концепция цифровых двойников

Впервые концепция «цифрового двойника» была отработана на «промышленном» уровне в начале 60-х годов прошлого века в рамках программы NASA (Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства) «Аполлон», ког-

да были построены как минимум два идентичных космических корабля, что позволило инженерам во время полёта отражать эксплуатационные условия корабля, находившегося в космосе. Космический корабль, оставшийся на земле, назвали «двойником». В этом смысле каждый вид прототипа, который используется для воспроизведения реальных условий работы и для моделирования поведения в реальном времени, может рассматриваться как двойник.

Другим хорошо известным примером «аппаратного» двойника является наземная испытательная установка «Iron Bird» (рис. 1), разработанная компанией Airbus для оптимизации и проверки жизненно важных авиационных систем [1, 4]. Это механическая интеграция электрических и гидравлических систем, а также средств управления полётом, каждая из которых выстроена в соответствии с фактической конфигурацией самолета, и все компоненты установлены в том же месте, в каком они были бы на реальном объекте.

Испытательный стенд позволяет инженерам подтверждать характеристики всех компонентов системы, а

также обнаруживать любые несовместимости, которые могут потребовать изменений на ранних стадиях разработки. Кроме того, воздействия и последующее устранение неисправностей в системе могут быть подробно изучены и записаны для последующего анализа [1].

В связи с ростом мощности вычислительных средств, технологий моделирования и, следовательно, повышения точности моделей физических компонентов и процессов сегодня детали испытательного стенда заменяются виртуальными моделями. Это позволяет разработчикам систем использовать концепцию испытательного стенда на ранних этапах разработки, даже тогда, когда некоторые физические компоненты ещё недоступны. Дальнейшее распространение этой идеи на все фазы жизненного цикла приводит к созданию полной цифровой модели физической системы – цифрового двойника.

Концепция цифрового двойника впервые была введена в оборот в 2002 году Майклом Гривзом (M. Grieves) в рамках презентации Мичиганского университета для представителей промышленности [2]. Данная концепция в то время рассматривалась Гривзом как прототип «идеальной» PLM-системы для разработки инновационных продуктов в разрезе так называемого бережливого производства. Однако привычный ныне всем термин «цифровой двойник» появился только в 2010 году, и М. Гривз приписывает его авторство своему коллеге Джону Викаерсу (John Vickers) из NASA. Он фигурировал в 11-й дорожной карте NASA в области технологий: моделирование, симуляция, информационные технологии и обработка [5]. В этом отчёте специалисты NASA обозначили будущее направление развития моделирования.

В 2002–2003 гг. идея цифрового двойника не получила широкой поддержки в первую очередь из-за технического несовершенства технологий того периода: отсутствовало необходимое аппаратное и программное обеспечение, а получение, обработка и хранение раз-



Рис. 1. Наземный авиационный испытательный стенд «Iron Bird» («Железная птица») [1]

личных данных о продукте в режиме реального времени были практически нереализуемы.

С появлением Интернета вещей (IoT), а позднее и промышленного Интернета вещей (IIoT), данная концепция эволюционировала. Сегодня под цифровым двойником мы понимаем виртуальную непрерывно адаптируемую модель технической системы или технологического процесса.

Для облегчения анализа, решения проблем и планирования мероприятий по усовершенствованию конструкции концепция цифрового двойника требует дополнительно включения в виртуальную модель системы финансовых и контекстных данных, а также данных с реальных датчиков, установленных на оборудовании.

Интегрируя виртуальные и физические данные, цифровой двойник позволяет осуществлять в реальном времени мониторинг систем и процессов, а также своевременно предотвращать проблемы, планировать превентивный ремонт с целью сокращения и предотвращения вынужденного простоя оборудования, и открывает новые возможности для бизнеса, например, переход на сервисную бизнес-модель.

С появлением Интернета вещей (IoT) внедрение цифровых двойников стало экономически выгодным, и технология стала получать всё большее признание в сообществе промышленного Интернета вещей (IIoT), делающем упор на сложное и капиталоемкое оборудование [16, 17].

В 2017 году эксперты Gartner прогнозировали, что к 2021 году почти половина крупных промышленных компаний в мире будут использовать технологию цифровых двойников с целью упрощения оценки производительности системы и технических рисков, достигая при этом повышения эффективности системы примерно на 10–12% [3]. Однако пандемия коронавируса внесла серьёзные коррективы в этот прогноз.

В настоящее время мы собираем и обрабатываем намного больше данных, чем это было возможно в начале 2000-х годов. Сейчас в автоматическом режиме, используя проводные сети и высокоскоростные сети 4G и 5G, мы способны получать информацию с датчиков, расположенных на промышленном оборудовании, и обрабатывать эту информацию в режиме реального времени. Этим и объясняется возрос-

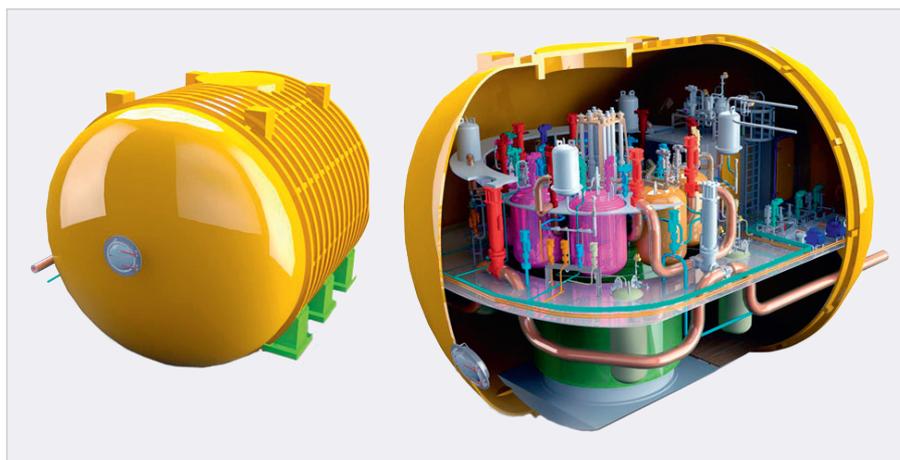


Рис. 2. Энергетическая капсула с унифицированной реакторной установкой «Шельф»

ший интерес к цифровым двойникам в последние несколько лет.

В своём развитии концепция цифрового двойника прошла несколько стадий. В самом начале это был традиционный виртуальный прототип, создаваемый в ходе предварительного проектирования. Он использовался для принятия решений на стадии эскизного проекта.

На следующем этапе развития цифровой двойник выполнял функцию виртуальной среды для моделирования поведения продукта. Симуляция поведения продукта осуществлялась с помощью технологий имитационного моделирования. Вся необходимая для работы модели информация о производительности, работоспособности и обслуживании реального физического объекта поступала в модель с датчиков, установленных на объекте, и дополнялась показаниями виртуальных датчиков.

Адаптивный цифровой двойник – это третья ступень эволюции концепции цифрового двойника. В нём используются алгоритмы машинного обучения на основе технологии нейронных сетей для планирования процессов в режиме реального времени и принятия решений в процессе эксплуатации и технического обслуживания объекта. Наконец, четвёртый уровень – это так называемый умный цифровой двойник. На этом уровне цифровой двойник обладает высокой степенью автономии. Он может анализировать более детальные данные о производительности, обслуживании и работоспособности оборудования и поддерживает обучение и распознавание состояний системы и окружающей среды с подкреплением сигналами от среды взаимодействия

в неопределённой, частично наблюдаемой среде.

На 3 и 4 уровнях ключевой технологией, используемой для построения цифрового двойника, является технология компьютерного инженерного анализа (CAE). Во многом именно интенсивное развитие технологий математического и имитационного моделирования и инструментов для сквозной интеграции CAD/CAE-систем с PDM/PLM и SCADA позволило перейти к практической реализации концепций адаптивного и умного цифрового двойника на промышленном уровне. И сегодня работы по внедрению цифровых двойников своей продукцией активно ведут такие компании, как госкорпорация «Росатом», АО «Вертолёт России», АО «ОДК-Климов», ПАО «ОДК-Сатурн» и другие представители российской промышленности.

Примеры использования ЦД в разных отраслях

В феврале 2021 года в АО «ВНИИАЭС» (входит в «Росатом») стартовали практические работы по созданию первого в России и мире так называемого цифрового двойника АЭС малой мощности (АСММ) с реакторной установкой РИТМ-200Н и «Шельф-М» (рис. 2). Проект осуществляется при участии АО «ОКБМ Африкантов», АО «НИКИ-ЭТ», АО «Гринатом» и НИУ ВШЭ, бизнес-заказчиком является АО «Русатом Овервиз». Цифровой двойник АСММ будет включать в себя расчётные коды, моделирующие физические процессы в АСММ (теплогидравлические, нейтронно-физические, электротехнические) в различных режимах эксплуатации, средства моделирования, базы данных и сервисное программное обеспечение [6].

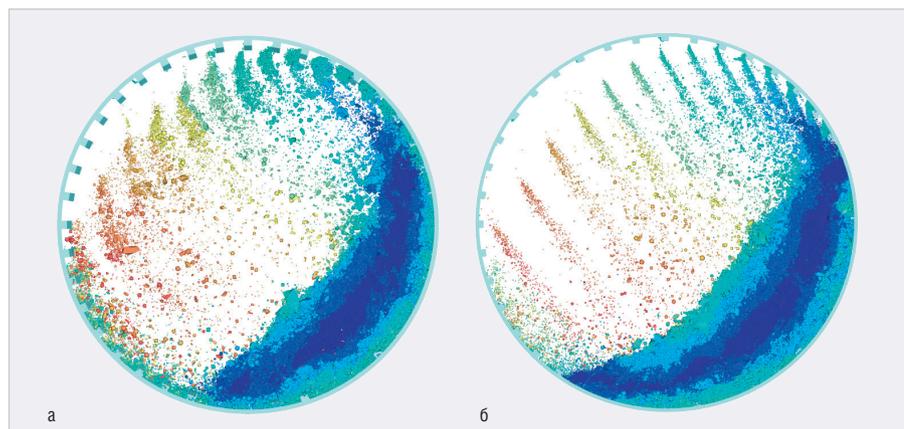


Рис. 3. Траектории движения материала в мельнице с профилем «Индустрия сервис» в новом состоянии (а) и в изношенном (б)

Таблица 1 Сравнение технологии цифровых двойников, построенных на основе законов физики и машинного обучения

| | На основе законов физики (гибридный цифровой двойник) | На основе машинного обучения и глубокого анализа данных |
|--------------|--|---|
| Преимущества | <p>Модели отражают глубокие знания, основанные на физике процессов.</p> <p>Новая информация получается за счёт построения причинно-следственных связей.</p> <p>Неопределённость контролируется входными данными и точностью моделирования.</p> <p>Модель имеет универсальное свойство – предсказывать события в любой точке, находящейся в рамках модели</p> | <p>Модель строится исключительно на основе данных – нет необходимости обладать знаниями в предметной области.</p> <p>Универсальная и гибкая модель – обрабатывает потоки неоднородных данных.</p> <p>С течением времени модель совершенствуется (обучение с подкреплением сигналами от среды взаимодействия).</p> <p>Хорошо подходит для обнаружения сложных взаимосвязей и паттернов</p> |
| Недостатки | <p>Требует обширных знаний в области физики.</p> <p>Большая вычислительная нагрузка; сложно осуществить в режиме реального времени.</p> <p>Предположения о характере входящих и исходящих данных должны быть сделаны заранее</p> | <p>Потребность в обучающих данных, необходимых для разработки модели.</p> <p>Корреляции, а не причинность. Чёрный ящик, без объяснений (в частности, технология глубокого обучения).</p> <p>Методы приближения, нет точной математики.</p> <p>Предиктивные возможности быстро ухудшаются за пределами области обучения.</p> <p>Трудно предсказать экстремальные/критические условия (мало наблюдений)</p> |

АО «НЦВ Миль и Камов» (входит в холдинг «Вертолёты России» госкорпорации «Ростех») в настоящее время проводит цифровую трансформацию производства для ускорения создания новых машин. Уже на первом этапе реализации программы «НЦВ Миль и Камов» сможет сократить сроки разработки конструкторской документации для новых вертолётов на 5–10%, а сроки технологической подготовки производства – до 20%. Цифровизация производства позволит усовершенствовать применение цифровых двойников для оптимизации конструкции, подготовки производства и эксплуатации вертолётов [7].

В 2019 году АО «ОДК-Климов» совместно с Центром НТИ СПбПУ завершили первый этап проекта по разработке цифрового двойника двигателя ТВ7-117СТ-01, представляющего из себя виртуальную модель двигателя, созданную по эталонным параметрам чертежей. Второй этап создания цифрового двойника должен завершиться

в 2022 году. В результате «ОДК-Климов» получит цифровой двойник, интегрированный в производственный контур. Он будет хранить и отражать детальную информацию о создании, существующих параметрах и эксплуатации каждого изготовленного двигателя. Результаты исследований будут внедряться на предприятии ММП им. В.В. Чернышева ОДК [8].

В 2018 году специалисты Трубной металлургической компании (ТМК) разработали первый в России цифровой двойник трубопрокатного агрегата, установленного на Северском трубном заводе. В его основу заложена комплексная математическая модель процесса прокатки труб, базирующаяся на авторском подходе в реализации энергетической теории обработки металлов давлением. Цифровой двойник с высокой точностью моделирует процессы производства труб на непрерывных раскатных, извлекающе-калибровочных и редуционных станах и позволяет в виртуальном

режиме проработать различные сценарии процесса прокатки, чтобы оптимально настроить оборудование для выпуска трубы с заданными характеристиками. По итогам текущего года ТМК получила около полумиллиарда рублей дополнительной прибыли от внедрения цифровых двойников прокатных станов на Волжском (ВТЗ) и Северском (СТЗ) трубных заводах. Экономический эффект был достигнут за счёт повышения качества трубной продукции, выпуска труб из новых марок стали и снижения издержек [15].

В сентябре 2021 года ПАО «ЛУКОЙЛ» запустило в эксплуатацию комплексную интегрированную цифровую модель Ватъеганского месторождения, которая является частью корпоративного проекта «Интеллектуальное месторождение». Беспрецедентный по масштабу и сложности проект включает в себя создание цифровых двойников более чем 3000 скважин и 12 объектов разработки и охватывает всю производственную цепочку добычи – от пласта до входа в центральный пункт сбора и подготовки нефти [12].

Компания «КАДФЕМ Си-Ай-Эс» планирует в начале 2022 года завершить проект по созданию так называемого гибридного цифрового двойника мельницы измельчения руды для одного из крупнейших производителей золота в России.

В основе общепринятой концепции цифровых двойников промышленного оборудования лежит компьютерный анализ данных, поступающих с датчиков, установленных на оборудовании, и последующее обучение нейронной сети на размеченных или неразмеченных данных, или обучение с подкреплением. Однако, как показывает практика, для решения таких важных задач цифрового двойника, как оценка текущего состояния оборудования и всей системы, в которой это оборудование эксплуатируется, определение оптимальных условий работы и прогнозирование остаточного ресурса данных, полученных от физических датчиков, часто бывает недостаточно. Концепция гибридного цифрового двойника предполагает, что кроме общепринятых физических датчиков применяются так называемые виртуальные датчики, которые предоставляют дополнительные данные об измеряемом параметре в любой точке оборудования на основе компьютерного инженерного анализа (CAE)

с использованием системной или имитационной модели.

Соответствующий цифровой двойник мельницы (рис. 3) измельчения использует технологии компьютерного инженерного анализа и системного моделирования для определения степени износа футеровки и прогнозирования износа футеровки во времени с учётом текущего состояния, планируемых режимов работы и загрузки [9, 10].

Моделирование и машинное обучение – дополняют или взаимозаменяют друг друга?

Поскольку гибридный цифровой двойник основан на законах физики и механики конструкций, можно оценить такие параметры, как уровень нагрузки или накопленное усталостное напряжение в конструкции, независимо от того, какие данные были получены от оборудования. Кроме того, такие параметры могут быть рассчитаны в любой точке конструкции.

Таким образом, будет справедливо сказать, что даже если цифровой двойник, в основе которого лежат законы физики, и двойник, функционирующий за счёт глубокой аналитики данных, являются в некоторой степени конкурирующими подходами, всё же они в значительной степени дополняют друг друга. Поэтому можно говорить о том, что будущее цифровых двойников лежит в точке пересечения этих двух подходов, объединяя сильные стороны каждого из них.

Гибридные цифровые двойники не только накапливают информацию о том, как условия эксплуатации влияют на работу оборудования, но способны прогнозировать реакцию системы на предполагаемые будущие сценарии. Благодаря этому мы можем лучше подготовиться к предстоящим критическим событиям, а также иметь возможность настраивать параметры АСУ ТП для оптимизации эксплуатационных характеристик. В табл. 1 представлены основные преимущества и недостатки этих двух подходов.

Интеллектуальный вибромониторинг и вибродиагностика как часть экосистемы «Цифровой двойник»

До сих пор мы рассматривали примеры цифровых двойников, которые описывают конкретный физический объект и содержат такие элементы, как: 3D CAD-модель, спецификации на материалы, записи о сервисном обслу-

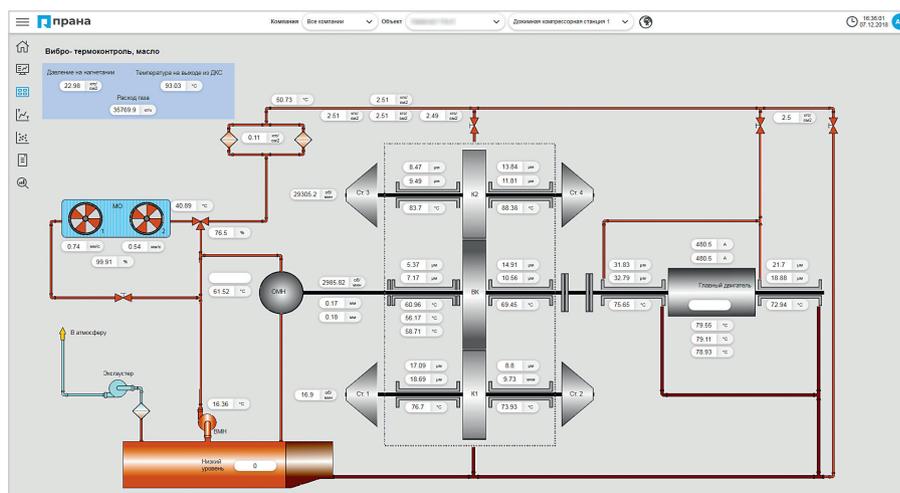


Рис. 4. Система ПРАНА: схема маслоснабжения и вибротермомониторинга газового дожимного компрессора

живанию, операционные показатели и пр. Однако трактовка термина «цифровой двойник» постоянно расширяется и в разных отраслях приобретает свою специфику. И сегодня к экосистеме цифрового двойника можно отнести и современные системы вибромониторинга и вибродиагностики, которые в рамках концепции промышленного Интернета вещей (IIoT) поставляются клиентам в виде так называемых интеллектуальных сервисов и выступают в роли оперативных виртуальных ассистентов для сотрудников, занимающихся техническим обслуживанием и ремонтом производственного оборудования. Данные мониторинга технического состояния формируются на основе постоянных измерений с датчиков, установленных на оборудовании (датчики виброскорости, давления, температуры и др.). По этим данным выполняется анализ работы оборудования и его узлов. Результат анализа выступает сервисом, информируя сотрудников о фактическом состоянии оборудования и предлагая рекомендации по проведению обслуживающих или ремонтных работ. Применение таких интеллектуальных сервисов позволяет установить эффективный режим работы оборудования и технического персонала, например, минимизировать простой.

Системы такого типа делятся на два класса: первые предназначены для мониторинга технического состояния оборудования. Они позволяют обнаруживать происходящие изменения в системе и их тенденции/тренды, сравнивают показания с пороговыми значениями и предлагают графический анализ результатов измерений в режиме реального времени. Второй

класс систем контроля предназначен для диагностики технического состояния. Задачей диагностики является обнаружение дефектов оборудования и его узлов, а также прогнозирование обслуживания.

Среди отечественных решений для интеллектуальной вибродиагностики и удалённого мониторинга технического состояния оборудования стоит обратить внимание на системы прогностики ПРАНА и КОМПАКС.

Система прогностики ПРАНА вобрала в себя более чем 7-летний опыт компании РОТЕК в области производства и обслуживания основного энергетического оборудования и сегодня востребована в самых разных отраслях промышленности (рис. 4). Система находится в коммерческой эксплуатации с 2015 года как независимое от OEM «коробочное» решение для прогнозирования состояния промышленного оборудования, управления надёжностью и мониторинга.

Система мониторинга ПРАНА получает необходимые данные из АСУ ТП объекта мониторинга. Мониторинг осуществляется по многим параметрам: виброускорение, виброскорость, температура и др. Для выявления аномалий в данных измерений ПРАНА использует эмпирические модели эталонного технического состояния диагностируемого объекта. Формирование диагностических признаков технического состояния критически важных элементов оборудования позволяет выделить такие характеристики измеряемых сигналов, которые обладают требуемыми избирательными свойствами к заданному классу дефектов, подлежащих распознаванию. На основании машинно-

го обучения диагностической системы для каждого класса технических состояний формируются эталоны. С помощью передовых алгоритмов ПРАНА в реальном времени сравнивает состояние оборудования с эталонной моделью и определяет различия между ними. При обнаружении какой-либо аномалии система ПРАНА автоматически идентифицирует её в дефект с помощью модели нейронной сети, обученной на таблице дефектов [12].

КОМПАКС – это комплекс программно-аппаратных средств для автоматической вибродиагностики и непрерывного мониторинга состояния оборудования. Разрабатывается НПЦ «Динамика» (г. Омск) с 1992 года и включает в себя следующие средства [14]: переносная вибродиагностическая система Comracs-micro; комплекс стендовых систем для повышения качества динамического оборудования; диагностическая сеть Comracs-Net для передачи и визуализации информации о текущем техническом состоянии оборудования. Система вибродиагностики КОМПАКС обеспечивает в автоматическом режиме диагностику, мониторинг и прогноз технического состояния агрегатов (расчёт остаточного ресурса) с выдачей рекомендаций обслуживающему персоналу по неотложным действиям для предотвращения развития аварийных ситуаций, отказа и останова оборудования.

Будущее цифровых двойников

Цифровые двойники базируются на целом ряде технологий, которые постоянно эволюционируют. К таким технологиям относятся: методы сбора, передачи и обработки данных, математические модели физических процессов, а также высокопроизводительные вычислительные средства, используемые для проведения расчётов (моделирования) на основе этих моделей. Поэтому будущее цифровых двойников напрямую зависит от роста возможностей этих технологий.

Алгоритмы искусственного интеллекта и машинного обучения, с которыми работают цифровые двойники, требуют огромных объёмов данных. Но зачастую на производстве данные с датчиков теряются, искажаются или собираются непоследовательно. Поэтому вопрос развития необходимой инфраструктуры и трансформации подхода к управлению данными является важным в контексте сокращения

времени окупаемости новых технологий в будущем.

Даже в тех случаях, когда цифровые двойники создаются для моделирования совершенно новых процессов, систем или устройств, не всегда возможно в нужных местах разместить все необходимые контрольно-измерительные приборы и датчики. В случае с химическими и биологическими реакциями или в экстремальных условиях (например, высокие температуры и давление) измерить характеристики непосредственно самого процесса может оказаться невозможно. В результате приходится получать данные опосредованно или опираться на те характеристики, которые можно измерить. Учитывая, что стоимость датчиков снижается и приобрести их уже не проблема, какое их число можно считать достаточным? Анализ издержек и потенциальной выгоды будет иметь критически важное значение в будущем. Так, современные авиационные двигатели можно оснастить тысячами и даже десятками тысяч датчиков, генерирующих терабайты данных каждую секунду. Однако в большинстве случаев при наличии детальной и точной системной модели, воспроизводящей работу электрических и гидравлических систем самолета, требуется лишь небольшое количество правильно расположенных датчиков для получения ключевых входных и выходных данных. Следовательно, в ближайшие годы будет продолжаться активное развитие средств математического и имитационного моделирования, а также рост доступных вычислительных ресурсов для моделирования в режиме реального времени. При этом качественный скачок быстродействия вычислительных систем возможен только при переходе на квантовые вычисления.

Также в ближайшие годы расширится область применения цифровых двойников. В логистике, производстве и цепочках поставок цифровые двойники в сочетании с технологией машинного обучения и расширенными возможностями сетевого подключения, такими как 5G, будут всё больше отслеживать, контролировать, направлять и оптимизировать потоки товаров по всему миру. Возможность в реальном времени отслеживать местоположение и условия, в которых содержится товар (температура, влажность и т.д.), будет считаться нормальной практикой.

Организации, переходящие от продажи продуктов к продаже продук-

тов вместе с услугами или в качестве услуг, первыми исследуют новые возможности использования цифровых двойников. Подключение цифрового двойника к встроенным датчикам и использование получаемых с помощью него данных для финансового анализа и прогнозирования открывают возможности для дополнительных продаж, получения более точных и оптимизированных прогнозов, а также оптимизации ценообразования. Например, так компании могут отследить повышенный износ оборудования и предложить дополнительные варианты гарантии или технического обслуживания. В таких отраслях, как сельское хозяйство, транспорт, аренда интеллектуальных коммерческих зданий, компании могут продавать как услугу объём производства / объём перевозки / моточасы и т.п. По мере роста возможностей и усложнения технологий всё больше компаний будут искать новые стратегии монетизации продуктов и услуг по образцу цифровых двойников.

В перспективе для полной реализации потенциала цифровых двойников может потребоваться интеграция систем и данных всех производственных экосистем. Создание цифровой модели полного жизненного цикла клиента или цепочки поставок, которая включала бы не только поставщиков первого уровня, но и их поставщиков, могло бы позволить компаниям видеть процессы на макроуровне. Однако вместе с тем такой подход потребует включения внешних субъектов в цифровые экосистемы внутренних процессов.

Долгое время развитию и промышленному применению технологии цифровых двойников мешало отсутствие соответствующих стандартов. Однако в сентябре 2021 года Россия первой в мире утвердила стандарты в области цифровых двойников. Соответствующий документ с названием «Численное моделирование» – ГОСТ Р 57700.37-2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения» одобрен Росстандартом и вступит в силу 1 января 2022 года. Национальный стандарт в области цифровых двойников изделий будет распространяться только на изделия общего машиностроения, но при необходимости на его основе в дальнейшем могут быть разработаны стандарты, устанавливающие требования к цифровым двойникам изделий других отраслей промышленности [10].

Литература

1. Airbus Industries (2015) Innovation. [Электронный ресурс] // URL: www.airbus.com/innovation/proven-concepts/in-design/iron-bird/ (дата обращения: 19.10.2021).
2. Grieves M. Virtually Perfect: Driving Innovative and Lean Products Through Product Lifecycle Management, Cocoa Beach, FL, USA, Space Coast Press, 2011.
3. Pettey C. Prepare for the Impact of Digital Twins; Gartner: Stamford, CT, USA, 2017.
4. Shafto M., Conroy M., Doyle R., Glaessgen E., Kemp C., LeMoigne J., Wang L. (2010) NASA technology roadmap: DRAFT modeling, simulation, information technology & processing roadmap technology area 11, Nov 2010.
5. Shafto M., Conroy M., Doyle R., Glaessgen E., Kemp C., LeMoigne J., Wang L. (2012) NASA technology roadmap: modeling, simulation, information technology & processing roadmap technology area 11, Apr 2012.
6. Во ВНИИАЭС началась разработка цифровых двойников атомных станций малой мощности. [Электронный ресурс] // URL: https://www.rosenergoatom.ru/zhurnalstam/news/37613/?sphrase_id=85873 (дата обращения: 19.10.2021).
7. НЦВ ускорит создание новых вертолетов благодаря цифровизации производства. [Электронный ресурс] // URL: https://rhc.aero/media/nhc_digitalization (дата обращения: 19.10.2021).
8. Ростех создаст цифровой двойник второго уровня авиадвигателя ТВ7-117. [Электронный ресурс] // URL: <https://news.rambler.ru/weapon/45079600-rosteh-sozdast-tsifrovoy-dvoynik-vtorogo-urovnya-aviadvigatelya-tv7-117/> (дата обращения: 19.10.2021).
9. Вдовин К.Н., Феоктистов Н.А., Хабибуллин Ш.М. Исследование динамики износа мельницы полусамозмельчения путем математического моделирования // Теория и технология металлургического производства. 2017.
10. В России утвержден первый в мире стандарт в области цифровых двойников изделий. [Электронный ресурс] // URL: https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/presscenter/news/newsRST/redirect/news/1/7463?portal.isSecure=true&navigationalstate=JBPNS_r00ABXczAAZhY3Rpb24AAAAABAA5zaW5nbGVOZXdxvmlldwACaWQAAAAABAAQ4MzM5AAdfX0VPRl9f&portal.componentId=88beae40-0e16-414c-b176-d0ab5de82e16 (дата обращения: 19.10.2021).
11. Золотарев О.В. Применение цифровых двойников в горнодобывающей промышленности: цифровой двойник мельницы измельчения // Эффективность и безопасность горнодобывающей промышленности. 2019.
12. ЛУКОЙЛ создал самую большую цифровую модель нефтяного месторождения в России. [Электронный ресурс] // URL: <https://lukoil.ru/PressCenter/Pressreleases/Pressrelease?rid=561008> (дата обращения: 19.10.2021).
13. Математический аппарат системы предиктивной аналитики ПРАНА. [Электронный ресурс] // URL: <https://prana-system.com/matematicheskij-apparat/> (дата обращения: 19.10.2021).
14. Система вибродиагностики динамического оборудования КОМПАКС. [Электронный ресурс] // URL: <http://www.dynamics.ru/products/compac-m/> (дата обращения: 19.10.2021).
15. ТМК получила прибыль в размере 500 млн рублей от внедрения цифровых двойников. [Электронный ресурс] // URL: <https://ru-bezh.ru/kompanii-iryinki/news/21/04/26/tmk-poluchila-pribyil-v-razmere-500-mln-rublej-ot-vnedreniya-czi> (дата обращения: 19.10.21).
16. Хитрых Д.П. Уровни сложности цифровых двойников. [Электронный ресурс] // URL: <https://cf-d-blog.ru/digital-twin-difficulty-levels/> (дата обращения: 19.10.2021).
17. Хитрых Д.П. Цифровой двойник и имитационное моделирование. [Электронный ресурс] // URL: <https://cf-d-blog.ru/digital-twin-and-simulation/> (дата обращения: 19.10.2021).



НОВОСТИ МИРА

Глава Intel прогнозирует дефицит чипов до 2023 года

Хотя производители полупроводников стремительно расширяют производство, спрос в условиях пандемии продолжает расти, и глобальный дефицит чипов сохранится до 2023 года.

Такое мнение на конференции в Малайзии высказал генеральный директор Intel Патрик Гелсингер (Patrick Gelsinger). Он побывал в стране с рабочим визитом после объявленных корпорацией планов по строительству в Малайзии нового полупроводникового завода, в который предполагается вложить 7,1 млрд долларов.

Завод будет расположен в малайзийском городе Баян Лепас в штате Пенанг, недалеко от международного аэропорта. Intel уже привлекает Малайзию к одному из заключительных этапов производства полупроводников – сборке ИС (IC packaging). В рамках инвестиционного плана, рассчитанного на 10 лет, компания намерена расширить мощности в стране. Ожидается, что это позволит создать более 4 тысяч новых рабочих мест.

Однако Гелсингер предупредил, что потребуется не менее трёх лет, прежде чем

усилия Intel и других участников полупроводниковой отрасли по увеличению производства принесут результаты. С учётом этого в Intel ожидают, что в ближайшее время поставки микросхем продолжат существенно отставать от спроса.

«В целом дефицит полупроводников весьма значителен, и до начала пандемии COVID-19 полупроводниковая промышленность росла примерно на 5% в год... Коронавирус нарушил работу цепочек поставок и привёл к негативной динамике. В то же время спрос резко подскочил на 20% по сравнению с прошлым годом, а разбалансированные цепочки поставок создали большой разрыв [между спросом и предложением] ... и этот взрывной спрос не ослабевает», – рассказал о ситуации в отрасли глава американского чипмейкера.

Гелсингер отметил, что инвестиции в Малайзии – это часть предпринимаемых Intel мер по дальнейшему наращиванию мощностей в США, Европе и Азии.

«Нужно просто время, чтобы построить все эти мощности в ответ на всплеск спроса», –

заявил топ-менеджер, напомнив, что ранее корпорация объявила о значительном расширении своих предприятий в американских штатах Аризона и Нью-Мексико.

Глава Intel пообещал, что в ближайшем будущем компания объявит об ещё одном крупном объекте в США, а также в Европе.

Ранее в октябре 2021 года агентство Reuters сообщало, что власти Италии ведут с Intel переговоры по поводу строительства в стране нового завода по выпуску чипов, в который планируется инвестировать в общей сложности 8 млрд евро. Предполагается, что на полупроводниковой фабрике будет создано более 1000 рабочих мест.

Кроме того, в планах Intel – проект по созданию в Европе предприятия по непосредственной обработке кремниевых пластин для сторонних клиентов. Площадкой для объекта может стать Германия или Франция.

Аналитики IC Insights прогнозируют в 2021 году рекордные капиталовложения в полупроводниковую отрасль – инвестиции вырастут на 34% и достигнут 152 млрд долларов.

russianelectronics.ru