



От редакции: Благодаря тренду на цифровизацию промышленных предприятий в последнее десятилетие наметился серьёзный скачок в развитии и применении цифровых двойников. Эту технологию начинают внедрять и успешно использовать предприятия самых разных отраслей промышленности и разного масштаба. Мы не могли пройти мимо такой актуальной темы и решили поговорить об особенностях технологии двойников с Андреем Николаевичем Крыловым – директором центра цифровых технологий АО «Моделирование и цифровые двойники» (АО «МЦД»).

НОВОЕ СОВРЕМЕННОЕ СРЕДСТВО ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ

АС: *Расскажите, пожалуйста, для тех наших читателей, кто ещё не знаком с этой технологией, что такое цифровые двойники и для чего они нужны на производстве?*

АК: Мы определяем цифровой двойник как программный аналог физического объекта, точно моделирующий его внут-

ренние процессы и поведение. Другими словами, это решение, работа которого опирается на датчики и контрольно-измерительные приборы, связанные с оборудованием на предприятии. Цифровой двойник может значительно повысить эффективность работы сложных производственных объек-



Оптимизация маршрутов подачи руды

тов. Технология актуальна для всех видов предприятий, занимающихся созданием или эксплуатацией дорогостоящих производственных активов. Это могут быть добывающие или перерабатывающие компании в области металлургии и нефтегаза; промышленные компании, производящие стройматериалы; машиностроительные предприятия, разрабатывающие сложные наукоемкие изделия, например, для авиакосмической отрасли или автомобилестроения. Они обладают высоким научным и конструкторским потенциалом, который может способствовать внедрению и развитию цифровых двойников.

АС: Почему Вы решили посвятить свою деятельность именно двойникам, как появилась Ваша компания?

АК: Наша компания известна на рынке с 2009 года как ключевой центр компетенций в области математического моделирования. За эти годы у нас накопился большой опыт выполнения практических проектов для крупных предприятий основных отраслей российской промышленности – машиностроения, энергетики, нефтегаза, металлургии. Поскольку математическое моделирование лежит в основе цифровых двойников, накопленные нами знания позволили несколько лет назад активно заняться этим новым наукоемким направлением. Наша многолетняя практика говорит о том, что технологии цифрового двойника применимы практически во всех отраслях, а моделирование позволяет работать с промышленными объектами.

АС: Когда зародилась эта технология, и какие изменения претерпела она за время своего существования?

АК: Технология цифровых двойников зародилась в середине прошлого десятилетия. Ключевым драйвером стала концепция Индустрии 4.0, провозглашенная в 2011 году бизнесменами, политиками и учеными, которые определили ее как средство повышения конкурентоспособности обрабатывающей

промышленности Германии через усиленную интеграцию «киберфизических систем» или CPS в заводские процессы. В ней был сформирован реестр инновационных цифровых технологий, которые способствуют повышению эффективности производства. Среди этих технологий – аналитика больших данных, искусственный интеллект, автономные роботы, облачные вычисления, интернет вещей, дополненная реальность, моделирование. Одним из направлений, где эти инновационные решения реализованы в полной мере, являются цифровые двойники. Цифровой двойник, находящийся на стыке продвинутых технологий, объединяет их и обеспечивает повышение эффективности эксплуатации и разработки физических объектов или производств.

АС: Расскажите о процессе создания цифрового двойника для промышленного производства. Насколько это сложно и затратно?

АК: Основная идея цифрового двойника заключается в том, что он позволяет повысить эффективность, надежность и безопасность эксплуатации физического объекта. Результат может быть сопоставим с грамотно выполненным техническим перевооружением, при этом затраты могут быть на порядок ниже. Хотя разработка и внедрение цифрового двойника являются относительно дорогостоящим проектом промышленной автоматизации, при эксплуатации он быстро себя окупает.

АС: Откуда берутся данные для моделей на этапе проектирования производства? Как можно спрогнозировать, к примеру, такие вещи, как человеческий фактор или ход эксплуатации предприятия?

АК: Данные – это основа цифрового двойника. Их недостаток или невысокое качество могут перечеркнуть все усилия по его разработке. Например, существуют поломки оборудования или нежелательные физические явления, которые про-



Оптимизация текущего режима

исходят достаточно редко и не оставляют информационного следа. Данные о характере таких дефектов сложно собирать и, как правило, по ним нет большого объема статистики. В этих условиях бывает трудно создать цифровой двойник, который мог бы воспроизвести этот дефект и, соответственно, предсказать его проявление на ранних стадиях.

При этом воспроизведение неисправностей цифровым двойником является важной задачей. Повторяя на модели той или иной дефект, можно определить причины возникшей поломки, а также увидеть, как эти причины проявляли себя в предварительных стадиях. Это позволяет спрогнозировать ту или иную дефектную нештатную ситуацию и обеспечить требуемый результат от цифрового двойника.

Технологии численного моделирования позволяют воспроизвести физический процесс в модели в явном виде даже при неполных данных и получить полную картину происходящего. Это дает возможность дополнить статистику данными, которые не были физически получены в ходе работы. Для тех явлений, по которым накоплена достаточно надежная статистика, применяются подходы машинного обучения. Эти технологии объединяются в один комплекс, дающий нужную вариативность, что позволяет цифровому двойнику отвечать на различные вопросы, прорабатывать сценарии «что, если», давать оператору рекомендации и прогнозы и в результате устойчиво оптимизировать работу объекта.

АС: Какие элементы в двойнике нужно учитывать или, наоборот, можно не учитывать?

АК: Разработка цифрового двойника – это проектная работа. В начале её важно сформулировать цель его создания и понять, как это решение поможет работе реального объекта, какую пользу оно принесет. Это устанавливает приоритет разработки, комплекс и сложность моделей, а также те упрощения, которые нужно будет вводить. Такой целью

может быть, например, определение способа повышения эффективности производства. Так, на нефтеперерабатывающем заводе непрерывно задействовано много различного оборудования, которое сложным образом взаимодействует между собой. При разработке цифрового двойника определяется, насколько необходимо воспроизводить поведение каждого из них. Зачастую можно делать существенные упрощения, которые не влияют на работу цифрового двойника и дают хороший эффект.

АС: Расскажите, об успешных опытах внедрения двойников на промышленных производствах. Были ли среди них ваших клиентов предприятия трубопроводной арматуры?

АК: У нас имеется опыт внедрения цифровых двойников на российских предприятиях, у которых на производстве установлено много запорно-регулирующей арматуры. В первую очередь, речь идет об одном из крупнейших российских предприятий по производству удобрений. Мы разработали детальную математическую модель всего технологического комплекса цеха, включающую более 2500 аппаратов и элементов, в том числе не менее 100 единиц арматуры. Ключевое требование – высокая точность модели, т. е. минимальное отклонение результатов расчета от фактически измеренных технологических параметров. Значение отклонения должно оставаться в пределах 1%, поэтому элементы арматуры в модели проходили многоэтапную верификацию, т. е. коррекцию и проверку соответствия их поведения реальным данным. Такая точная и детальная модель позволяет решить много задач производства. Например, она дает возможность оценить влияние и последствия различных технических мероприятий на производстве, оптимизировать технологический процесс, чтобы снизить энергозатраты или увеличить выпуск продукции, оценивать состояние и загрузку оборудования на разных режимах работы установки.

АС: Как Вы считаете, для каких проектов цифровой двойник нужен, а где без него можно обойтись? Или всем производствам он в принципе будет необходим?

АК: Цифровой двойник, безусловно, нужен на всех крупных и прибыльных производствах, которые являются достаточно зрелыми для новых технологий. Он позволяет с малыми затратами повысить эффективность работы основного оборудования, а на крупнотоннажных производствах это дает значительную прибыль и быструю окупаемость. Вопреки моему мнению, в России достаточно современных производств и квалифицированных специалистов, которые способны работать с новыми технологиями. Потенциал повышения эффективности большой, и потому «игра стоит свеч». Но основной фактор успеха проекта – вовлеченность персонала, готовность меняться и изменять сложившиеся процессы. Любая работа по созданию цифрового двойника – это работа инженеров заказчика и исполнителя. Производство как заказчик цифрового двойника обязательно участвует в определении целей, задач, критериев успеха проекта, собирает исходные данные. Наверное, самый сложный процесс, который организует заказчик, – это ввод в эксплуатацию нового наукоемкого решения, которого ранее на производстве не было. Опыта применения, доверия к результатам нет и из ниоткуда ему не взяться. Поэтому надо быть готовым к сложностям «принятия» цифрового двойника, быть последовательным во внедрении решения. По моему опыту, желательно предусмотреть в производственной культуре механизмы мотивации внедрения инноваций.

АС: Опережают ли нас Европа и США по внедрению цифровых двойников? Повлияло ли санкционное давление на распространение технологии у нас?

АК: Насколько мне известно, в Европе и США нет заметно опережения в распространении цифровых двойников. Они во многом идут тем же путем, и, работая, сталкиваются с очень похожими ограничениями. При этом в России санкционное давление, действительно, корректирует спрос и распространение технологий.

Во-первых, сегодня нужны гарантированно импортонезависимые решения. Это справедливо для цифровых двойников, которые работают у заказчиков, так как это бизнес-критические системы, на которые во многом опирается производство при принятии стратегических и оперативных решений. Многие проекты и разработки цифровых двойников трансформируются именно по этой причине, поскольку опирались на иностранные программные и аппаратные решения.

Во-вторых, многие крупные промышленные предприятия сейчас вынужденно изменили приоритеты. Импортозамещение уже внедренных информационных систем стало критически важным на многих производственных предприятиях, и их возросший приоритет в условиях ограниченных ресурсов сдвигает сроки новых инновационных проектов.

Но при этом мы видим, что спрос на цифровые инновации в области промышленной автоматизации заметно и устойчиво растет в последние годы. Сложившаяся ситуация открыла новые рыночные ниши. Гораздо большим спросом стали пользоваться услуги реверс-инжиниринга, которые сегодня во мно-

гом повторяют задачи цифровых двойников. По сути, для того, чтобы воспроизвести готовое изделие «с нуля», не зная технологии его производства, не имея его конструкторской документации, аналогичных конструкционных материалов, нужно провести большой объем проектирования и полномасштабные испытания изделия. В условиях ограниченного времени остро стоит вопрос сокращения цикла испытаний без ущерба для качества. Здесь основное подспорье – всесторонние виртуальные испытания изделия в компьютерной среде. Это задача цифрового двойника, которая является важной составляющей стратегии импортозамещения для многих компаний.

АС: Есть ли какой-то общий набор возможных проблем при эксплуатации двойников? Может ли это повлиять на работу производства?

АК: Цифровой двойник системно влияет на работу производства. Своей практически бесперебойной работой он заслужил доверие, поэтому сейчас является бизнес-критическим решением. Однако, если он работает некорректно, то это может негативно отразиться на производстве. Одна из ключевых сложностей заключается в воспроизводимости результатов. Основная задача заключается в том, чтобы цифровой двойник был способен к изменениям вместе с реальным объектом. На сложном производстве, например, нефтегазовом или химическом, оборудование имеет свойство менять свои характеристики. Происходит старение агрегатов либо снижение эффективности катализаторов, засорение, появление отложений на трубах теплообменных аппаратов и другие изменения. Цифровой двойник может этого не знать, и, если он продолжает воспроизводить работу оборудования без верификации, то будет постоянно вносить системную ошибку. В конечном итоге это может привести к нежелательным последствиям, например, к перегревам, неправильным режимам работы и дефектам, которые ведут к неисправностям, поломкам и убыткам. В связи с этим основная задача на этапе разработки и внедрения цифрового двойника – предусмотреть механизм верификации, который позволит гарантировать, что он действительно воспроизводит реальный режим работы оборудования, независимо от его изменений.

АС: Есть ли у цифровых двойников тренды развития? Как Вам кажется, в каком направлении движется технология в мире и России?

АК: Сегодня основными трендами является демократизация решений и увеличение количества проектов, связанных с работающими на производстве цифровыми двойниками, а также развитие наработанных приемов, библиотек, фреймворков для разработки новых решений. Масштабируемость – это то, что в первую очередь необходимо при разработке современных цифровых двойников, поэтому на первый план выходит создание типовых цифровых двойников с типовыми элементами, которые могут развиваться и требовать небольших затрат времени, сил и инвестиций. Цифровой двойник – это новое современное средство промышленной автоматизации, которое должно стать абсолютно масштабируемым и воспроизводимым.