

Предлагаемое вниманию читателей интервью было опубликовано в российском журнале “Умное производство” № 48 и на сайте <https://umnpro.com>.

Гибридный цифровой двойник: два в одном

Интервью “Умнпро” с Андреем Крыловым,
исполнительным директором “Фабрики Цифровой Трансформации”

Беседовала Светлана Бакарджиева (журнал “Умное производство”)

Чем отличается гибридный цифровой двойник от цифровых двойников других типов? Почему, при всей широте возможностей машинного обучения, последнее слово в производственных процессах всё равно останется за человеком? Как организовать полный жизненный цикл цифрового двойника?

Инженерная компания “Фабрика цифровой трансформации”, используя собственную методологию, разработала решение по внедрению цифровых двойников на основе промышленного интернета вещей (IIoT) для повышения точности диагностики оборудования и устранения неполадок во время эксплуатации. Собеседник “Умнпро” – исполнительный директор “Фабрики Цифровой Трансформации” (холдинг “КАДФЕМ”) **Андрей Крылов**.

– Андрей, давайте начнем с определения основных понятий, которыми мы будем оперировать в беседе. А то ведь до сих пор в отечественной промышленной среде не сформирован единый глоссарий новых понятий, связанных с цифровизацией. Причем, именно с цифровыми двойниками в этом плане больше всего путаницы, различий и произвольных трактовок термина. К тому же сами двойники постоянно эволюционируют, у них добавляются новые опции, растет сфера охвата и т.д.

– Понятие гибридного цифрового двойника – сравнительно новое даже для руководителей, занимающихся вопросами цифровизации. И вкладываемый в него смысл зависит от контекста задач, решаемых компанией. Мы, будучи инженерной компанией, трактуем это понятие применительно к технологическому оборудованию либо к технологическим системам.

– А как насчет бизнеса в целом?

– Бизнес в целом очень выиграет, если получит достоверный источник информации о техническом состоянии эксплуатируемого промышленного и технологического оборудования. В этом смысле цифровой двойник – неотъемлемая часть бизнес-экосистемы предприятия и взаимодействует с ней посредством таких инструментов, как технологии IIoT, современные специализированные программные решения.

Суть гибридного цифрового двойника заключается в том, что он носит комплексный характер,



Андрей Крылов

объединяет ряд хорошо зарекомендовавших себя технологий, уже не первое десятилетие используемых в промышленности. Это, например, известное нам машинное обучение, численное моделирование физических процессов, системное моделирование и т.п. Использование численного моделирования в формате виртуального эксперимента позволяет сократить количество натуральных испытаний – вместо этого на компьютере моделируется поведение интересующего объекта в заданных реальных условиях эксплуатации. То есть, рассматриваются сценарии его поведения при разных режимах работы и при различных характеристиках рабочей среды. Моделирование физических процессов – по сути, ключ к надежной оценке текущего технического состояния оборудования, определению оптимальных режимов работы, анализу изменений функционального состояния в будущем, прогнозированию остаточного ресурса. Эти технологии очень хорошо себя зарекомендовали в промышленности, и сегодня это *must have* для всех разработчиков новой техники.

– Мы сейчас рассматриваем производства в одной связке с промышленным строительством и с применяемой в нем технологией BIM. В связи с этим вопрос: как можно выстроить взаимодействие этой технологии с BIM, чтобы получаемая благодаря ей целостная картина использовалась

уже на стадии проектирования производственных площадей?

– Безусловно, эти технологии могут быть связаны, поскольку *ВМ* как цифровая модель промышленного объекта может служить источником информации для математического моделирования. Кстати, еще до появления этой технологии и термина *ВМ*, в промышленном и гражданском строительстве использовались средства численного моделирования, что вызывалось необходимостью оценки поведения промышленных зданий в различных условиях – сейсмических, ветровых и многих других.

Вообще, востребованность этой технологии крайне высока при разработке любого объекта. Но мы пошли в этом смысле дальше: технологии численного моделирования, используемой при разработке новых изделий, теперь отводится важная роль и на этапе эксплуатации. И в этом заключается один из аспектов гибридного цифрового двойника. Гибридный цифровой двойник несет максимальную пользу как производителям сложных объектов, сложного оборудования и техники, так и их эксплуатантам и операторам. Одно из его отличий от известных версий цифровых двойников заключается в том, что в этом комплексе инженерных технологий также используется системное

моделирование, когда мы можем имитировать реальные физические процессы не только в отдельном обособленном объекте оборудования, но и в технологической системе в целом. И это важный связующий элемент, позволяющий моделировать физические процессы в реальном времени.

– Пожалуйста, поясните подробнее, как это работает...

– Если в этом контексте говорить о металлообрабатывающих производствах, с их цехами, участками и службами, то их следует рассматривать как комплекс последовательных либо параллельных элементов, которые в совокупности обеспечивают нужную технологическую обработку готового изделия. Используя системное моделирование, мы можем заблаговременно выявить возможные отклонения в любом элементе этой системы, обеспечив таким образом нужный уровень качества продукции и снизив риски – в том числе, в аспекте промышленной безопасности. А также рекомендовать оператору оптимальные режимы эксплуатации оборудования, позволяющие сокращать издержки. Это, например, возможное сокращение энергопотребления, снижение расхода используемых ресурсов – сырья и материалов.

– Кстати, вошло ли это уже в систему, чтобы предприятия выполняли эти рекомендации на практике? Обрели ли они статус стандартов, нормативных правил и т.д.?

– Конечно, мы зачастую работаем с весьма консервативными предприятиями, нормативные правила, стандарты и регламенты которых сложились за многие десятилетия. Но мы и не стремимся сломать или принципиально изменить их. Наша миссия – выстроить такую систему, которая позволит “улучшить” эти нормативы в отношении более эффективного контроля качества, отслеживания возможных дефектов. Возьмем для примера техническое обслуживание по состоянию. Этот аспект нередко в нормативной документации предприятий недостаточно проработан. Предоставляя предприятию источник достоверной информации для проведения технического обслуживания по состоянию, мы можем заложить основу для разработки новых нормативов и стандартов. Конечная цель здесь – экономия средств, сокращение издержек и повышение надежности работы предприятия.

– Издержки, как известно, могут иметь разные причины. Помимо прямых затрат, связанных с обслуживанием и ремонтом, это существенные убытки вследствие незапланированных простоев, когда в цехе не успели своевременно отремонтировать или обслужить оборудование, или же потеряла логистика: не доставили вовремя или потеряли компоненты, заготовки и т.д. Каким образом решение от “Фабрики Цифровой Трансформации” может помочь в каждом из этих случаев?



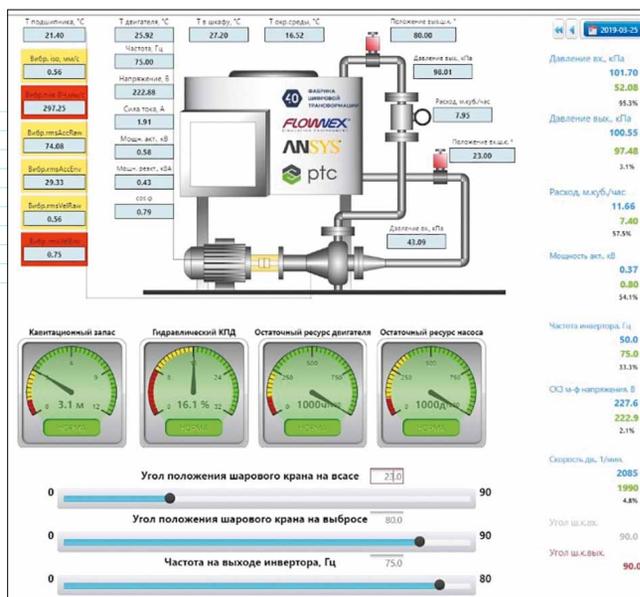
Пример оборудования

– В нашем решении, помимо математического моделирования и машинного обучения, применена технология промышленного интернета вещей. Мы используем лучшее в своем классе платформу *IIoT*, которая является основой для создания комплексной производственной системы. Эта технология позволяет нам очень эффективно интегрировать решения в экосистему предприятия, связав её как со смежными производственными информационными системами, так и с учетными системами предприятия. И если у клиента остановится тот или иной станок либо технологическая линия, то, с одной стороны, необходимо четкое понимание требуемой степени вмешательства ремонтных служб (с учетом свободных технологических окон) и наличие возможности для перераспределения нагрузки на смежные центры. С другой стороны, важно обеспечить всю необходимую логистику в отношении деталей, обслуживающего персонала, учесть это в регламенте обслуживания – для того, чтобы в дальнейшем заблаговременно принимать правильные решения. Для принятия всех этих решений им нужна объективная информация. В этом смысле гибридный цифровой двойник – надежный источник информации об остаточном ресурсе оборудования, о характере и корневой причине дефектов.

– А как в этих системах учитываются компоненты, поступающие от аутсорсеров? Их контроль за качеством, за соблюдением сроков поставки и т.д.?

– Гибридный цифровой двойник требует множества данных, причем важны как объем поступающих данных, так и их качество. В первую очередь качество данных влияет на точность модели. Если мы говорим о том, что наша цифровая модель отражает поведение реального объекта, то во главу угла ставится достоверность информации – информации о текущих рабочих режимах, получаемой от контрольно-измерительной аппаратуры, информации о характеристиках материала, о геометрических параметрах. Это достаточно большой массив данных.

Сейчас в среде производителей бытует мнение, что, когда речь идет о машинном обучении, можно уйти от этих данных, заменив их большим объемом статистики, поступающей с оборудования. На многих производствах накоплен значительный объем статистики. Потенциальные пользователи этих технологий – предприятия машиностроения и энергетики, операторы энергетических компаний, а также компании нефтегазового сектора, горной добычи и металлургии. Для этих компаний характерны большой оборот средств и большие издержки. Соответственно, там имеется значительно больший потенциал экономии и оптимизации, который может быть реализован с помощью гибридного цифрового двойника. Сложность их ситуации заключается в том, что они, обладая значительным объемом статистических данных о своей технике и



Цифровой двойник насосной установки

оборудовании, паспортом на продукцию, при этом имеют сравнительно мало информации об объекте как таковом. Из данных, которыми они располагают, можно сделать вывод, что в среднем более 95% времени производственное оборудование этих компаний работает в нормальном, штатном режиме. И лишь небольшую долю времени – от трех до пяти процентов – оборудование работает в режимах повышенной интенсивности. Надо понимать, что эти несколько процентов включают в себя все отклонения и неисправности, характерные для этого оборудования. Следует отметить, что зачастую собранной с оборудования статистической информации оказывается недостаточно для получения эффективной модели машинного обучения. Вследствие этого невозможно получить достоверный прогноз работы узлов и агрегатов, необходимый для планирования загрузки оборудования, сроков его ремонта и т.д. Таким образом, понятие “Больших данных”, которое используют многие компании, в подобных случаях не применимо, поскольку эти данные отсутствуют.

– То есть, это в определенной степени можно считать аналогом “клипового мышления” для машин: имеется некая картина из множества фрагментов, не дающая представления о продукте и явлении в целом...

– Мне кажется, в определенной степени дело здесь в не совсем удачном трансфере технологий. Методы работы с большими данными и технологии машинного обучения показали хорошие результаты и окупили себя во многих отраслях, но в промышленности при их внедрении возникли определенные проблемы. Как их преодолеть? Мы понимаем, что основными выгодоприобретателями технологии гибридного цифрового двойника являются компании, связанные с непрерывным

производством. Мы также понимаем, что при создании цифрового двойника необходимо применять моделирование. И реализация сценариев – это фактически дообучение модели, использование дополнительных данных, которые позволили бы получить больше информации о характере отклонений и причинах тех или иных дефектов. Поэтому данных, которые мы получаем с датчиков, здесь недостаточно. Недостаток этих данных может быть восполнен за счет моделирования. Комбинация трехмерного, численного и системного моделирования может дать достаточно достоверную информацию, если мы имеем качественные характеристики наших изделий. И в этом смысле нам необходимо взаимодействовать с разработчиками оборудования и продукции, а также с машиностроительными предприятиями, так как они зачастую обладают максимумом нужной информации, поскольку они разработали, испытали и произвели этот конкретный объект.

Цифровой двойник привязан к конкретному объекту. И сегодня технически и организационно возможно реализовать схему, когда машиностроительная компания, выпускающая изделие, будет сопровождать его цифровым двойником, содержащим всю необходимую информацию. И в этом смысле компания, получившая цифровой двойник вместе с объектом, может использовать его для достоверных прогнозов состояния оборудования, для оптимизации своих производственных задач.

– Здесь вырисовывается интересная коллизия на стыке технологий и психологии: ведь всё это, помимо прочего, обеспечивает тотальную прозрачность всего, а у нас ее любят не все, ведь для целого ряда профессий и должностей их ценность на рынке во многом определяется именно владением знаниями и компетенциями, которые для непосвященных – непроходимые дебри. Для них такая десакрализация этих знаний – урон и моральный, и материальный...

– Всё правильно. Но в конечном итоге все стороны заинтересованы в появлении такого универсального инструмента – цифрового двойника, который бы обеспечивал организацию полного жизненного цикла в интересах всех сторон. И здесь, конечно, очень важна технология, обеспечивающая конфиденциальность, и, соответственно, провайдер этой технологии, который мог бы помочь связать все этапы жизненного цикла изделия как технологически, так и организационно. Технологии для этого есть, причем уже зрелые. Здесь присутствует элемент нашего ноу-хау, который помогает обеспечить передачу знаний об объекте и при этом сделать их достаточно закрытыми, чтобы реверс-инжиниринг и другие подходы не нарушали права на интеллектуальную собственность предприятия-разработчика и производителя оборудования. Эта проблема решается, равно как и другие. Например, различие в целях у машиностроительных

предприятий – разработчиков и эксплуатантов. Последним важно обеспечить надежное решение, которое без лишних затрат позволило бы реализовывать производственные задачи. В этом смысле им требуются компетенции, касающиеся КИП и автоматики, а также интеграции с платформой интернета вещей – универсальной платформой, которая, я убежден, необходима для любого оператора, поскольку она дает огромные преимущества и позволяет интегрировать такие сложные функции как цифровой двойник. Это и компетенции по правильному внедрению технологий моделирования в производственном контуре, на производственном оборудовании и контроллерах.

Если говорить о разработчиках продукции, то они уже довольно широко используют технологии трехмерного и одномерного численного моделирования. Это позволяет им гарантировать работу оборудования в заданном диапазоне режимов и параметров с учетом всего объема выполненных натуральных и численных экспериментов. В то же время в ходе эксплуатации изделия возникают другие режимы, другие нагрузки, условия, которые не рассматривались в процессе разработки – например, обусловленные изменившимся производственным планом. Всё это вызывает ряд сложностей, которые мы стремимся предотвратить. Правильная комбинация машинного обучения и моделирования обусловлена характером процесса. Здесь применяются разные подходы. Например, если процесс является сложно описываемым, но достаточно постоянным, мы можем применять технологии машинного обучения. А если процесс носит вариативный характер, сильно изменяется во времени, целесообразнее использовать численное моделирование. И в этом смысле мы (или другой провайдер) могли бы выступить как постановщики задач и помогли бы с реализацией IoT-платформы.

– И как бы вы оценили сегодняшнюю степень готовности компаний – потенциальных заказчиков этого решения – принять эту помощь и в полной мере воспользоваться результатами внедрения? Какой уровень цифровой зрелости требуется от компании, чтобы она смогла это использовать? И можете ли вы помочь своим заказчикам повысить цифровую грамотность, достичь новой ступени цифровой зрелости?

– Безусловно, реализация этого решения – гибридного цифрового двойника – требует вовлечения всех заинтересованных сторон. Мы изначально строили свою компанию так, чтобы аккумулировать различные компетенции – в сфере АСУ ТП, в трехмерном многодисциплинарном численном и в системном моделировании, в машинном обучении, в многокритериальной параметрической оптимизации, в ряде других технологий на стыке инженерии и математики. Здесь мы видим роль высокотехнологичной компании-партнера при создании дополнительного продукта – цифровых двойников, позволяющих разработчикам оптимизировать свои

изделия, а эксплуатантам оборудования – сокращать издержки.

Внедряя гибридный цифровой двойник, компания также получает, благодаря совокупности составляющих его технологий, эффективный инструмент решения целого комплекса задач. Это, например, автоматизированная верификация: решение задач идентификации параметров для математических моделей с сотнями варьируемых величин гарантирует их соответствие состоянию реального объекта в производственных условиях и точность аналитики. А еще – выявление отклонений и их интерпретация; предсказание поломок и отклонений с прозрачной причинно-следственной связью; определение корневых причин дефектов и неисправностей работающего оборудования. А также ряд задач, связанных с оптимизацией работ и технологических режимов. Доступная информация и зрелость современных технологий позволяют успешно решать все перечисленные задачи.

Конечно, мы заинтересованы в том, чтобы способствовать росту цифровой зрелости наших клиентов, и делаем для этого всё возможное. Прежде всего, это – корректный трансфер технологий: очень важно понимать, что после передачи цифрового двойника предприятию, надо обеспечить, чтобы он работал в его контуре, не передавая данные во внешнюю среду. При этом касательно компаний-эксплуатантов можно сказать, что уровень их цифровой зрелости не столь важен, поскольку, получив работающую технологию, реализованную на промышленном контроллере, сопровождаемую обслуживанием и поддержкой, они не увидят для себя принципиальной разницы с современными АСУ, которыми большинство компаний у нас уже оснащено. Если говорить о технологиях, несущих дополнительные преимущества, – это может быть промышленный интернет вещей, дополненная реальность – то здесь, на мой взгляд, уровень зрелости современных предприятий вполне достаточен. Большинство из наших компаний уже достаточно давно столкнулись с выбором: либо глубокая модернизация своего производства (а это значительные капитальные затраты), либо повышение эффективности использования имеющихся ресурсов. И мы как раз работаем в этой области – повышения эффективности и оптимизации того, что есть.

– Это очень важно для российского среднего бизнеса, поскольку для большинства его представителей вопрос глубокой модернизации пока не актуален в силу финансовых ограничений. А вот оптимизация имеющихся ресурсов – оптимальный способ повысить производительность и, соответственно, конкурентоспособность. Насколько доступны предлагаемые вами инструменты и продукты?

– Практика показывает, что сейчас наибольший интерес к ним имеют более зрелые предприятия. Причем, мы убедились, что малый и средний бизнес часто является зрелым, современным и хорошо

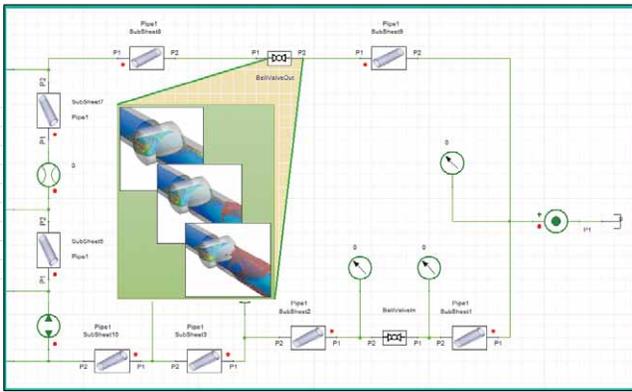
оснащенным. Многие небольшие предприятия пищевой отрасли, производители медицинского оборудования готовы к внедрению современных технологий, в том числе цифровых сервисов. В машиностроении и металлообработке также есть много небольших по масштабу компаний, готовых к внедрению таких новаций. Там понимают, что любая модернизация производства – не панацея, поскольку конкуренты на внутреннем и внешнем рынках научились оптимизировать процессы. И потому одним лишь техническим перевооружением сейчас невозможно достичь конкурентоспособного уровня производительности и качества продукции.

Одно из преимуществ нашего решения – быстрый старт и простота эксплуатации. Цифровой двойник не требует длительного обучения, равно как и сбора статистики, что достигается благодаря точным и достоверным моделям физических процессов. Информацию о неисправностях и рекомендации он предоставляет пользователю как посредством веб-интерфейсов, так и в режиме дополненной реальности. К тому же эта технология реализуется на привычном им промышленном оборудовании, контроллерах.

При этом промышленным компаниям, ставящим перед собой задачи цифровизации, очень важно не оказаться в тупике, в который может завести необдуманное применение какого-то одного подхода. В этом смысле гибридный цифровой двойник, как комплексное решение, позволяет взять лучшее из проверенных практикой и зарекомендовавших себя в отрасли технологий и обеспечить устойчивое решение производственных задач.

– А как ваша компания пришла к идее создания такого продукта?

– Мы много лет занимались численным моделированием, представляя интересы ведущего производителя САЕ-программ, и стали надежным партнером для машиностроительных предприятий в высокотехнологичных сегментах: авиакосмическом, нефтегазовом, ОПК, промышленном и гражданском строительстве. А несколько лет назад мы стали получать от наших клиентов более комплексные запросы. Оказалось, что выполненный, законченный численный эксперимент несет ценность только при разработке, но не при эксплуатации. Многие тогда стали задумываться о том, как сделать эту модель динамической, как применять накопленные знания и на этапе эксплуатации изделия. Получив ряд таких запросов, мы провели исследования, в том числе маркетинговые. В результате поняли, что это направление имеет огромную перспективу, но при этом требует несколько иной организации и компетенций – более разноплановых и более комплексных. Поэтому мы и создали компанию “Фабрика Цифровой Трансформации”, способную объединить разные технологии и подходы, чтобы можно было перекинуть мостик между машиностроительными технологиями, технологиями инженерного



Модель физических процессов в цифровом двойнике насосной установки

анализа и производственной эксплуатационной реальностью, в которой они способны принести большую пользу. В этом смысле машинное обучение позволяет добавить недостающий элемент, получить достоверный прогноз, располагая всеми необходимыми данными. А присутствующие в гибридном цифровом двойнике технологии *IIoT* и дополненной реальности позволяют нам, имея исходные данные, обеспечить предприятие необходимыми преимуществами.

Эти данные могут быть полезны и при разработке изделия, поскольку можно собрать информацию о дефектах, о развивающихся проблемах и передать её машиностроителям в правильном, обезличенном формате – и на выходе получить качественно иной уровень послепродажного сервиса. Ведь если поставщик видит достоверную детальную картину того, как клиент эксплуатирует оборудование, располагает прогнозами о выходе из строя каждой единицы техники, он может вовремя поставить нужные запчасти, обеспечить всю необходимую логистику; также у него автоматически снимается вопрос, является ли этот случай гарантийным или нет. Кроме того, поставщик получает возможность экономически оправданно производить модернизацию изделия и капитальный ремонт с учетом фактических данных.

На гибридном цифровом двойнике, как на инструменте, могут базироваться целые бизнес-модели. Например, модель предоставления оборудования как услуги, когда конечный пользователь покупает несколько часов его эксплуатации. Цифровой двойник использует актуальную информацию о работающем устройстве – в том числе и для расчета окупаемости изделия.

– Только вот идея шеринга оборудования, которую широко обсуждали у нас года два назад, теперь практически заглохла. Но, во всяком случае, окно возможностей для этого благодаря цифровым технологиям, несомненно, расширилось...

– Мы, являясь инженерной компанией, прорабатываем один из серьезных аспектов этой задачи. Промышленной компании при заключении

контракта жизненного цикла важно своевременно учесть, что следует отразить в его расходной части, правильно рассчитать её. Располагая инструментом, дающим полное понимание о характере и причинах дефектов, отклонений и неисправностей, производитель имеет возможность более точно просчитывать свои риски и издержки, правильно формировать цену. Возможно, одна из причин, сдерживающих широкое использование шеринга оборудования, состоит именно в том, что при использовании такой новой модели очень сложно определить издержки и оценить риски. Цифровой двойник решает эти проблемы.

– Какими видятся перспективы гибридных цифровых двойников?

– Если в двух словах, то самыми широкими. Работая много лет на зарубежных рынках, мы видели, что для развитых экономик характерно более плотное сотрудничество разработчиков и эксплуатантов. Поэтому там часто востребована модель портала, когда разработчик техники предоставляет доступ к своему ресурсу, и таким образом к нему поступает информация об эксплуатации с полевого уровня. И еще у них несколько проще решается задача мониторинга и прогнозирования в этом формате. Для отечественной промышленной среды характерен более высокий уровень конфиденциальности. Поэтому мы больше сконцентрированы на поиске технологических решений, позволяющих передать нужный объем информации, не раскрывая в то же время ценных аспектов каждой из сторон. Например, есть технология, аналогичная “черному ящику” в самолетах; передаваемая с её помощью информация является калибруемой, достоверной и понятной с точки зрения технологических процессов.

Еще один важный аспект связан с человеческим фактором. Дело в том, что машинное обучение – это “черный ящик” для всех, даже для его создателей. Мы часто слышим о том, что оно дает нужный результат, но при этом никто точно не понимает, каким образом. Математическое же моделирование физических процессов, которое мы применяем, обеспечивает прозрачность. Мы имеем дело с виртуальным экспериментом, при этом всегда зная все аспекты его проведения, имея возможность отследить тот или иной физический процесс, сделать нужный вывод. Повторю: цифровой двойник от ФЦТ не просто собирает и передает данные, а обрабатывает их для прогнозирования состояния оборудования и выработки рекомендаций по оптимальным режимам работы. В этом случае технологам и операторам на традиционных консервативных производствах гораздо проще принимать нужные решения – они не только получают рекомендации, но могут и проследить, на чём они основаны, базируясь на модели физических процессов. 🧐

Текст печатается в оригинальной редакции журнала “Умное производство”.