



СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ПРОДУКЦИИ: ТЕХНОЛОГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

В.Н. Рысина (ФИЦ «Информатика и управление» РАН)

Рассмотрены тенденции развития систем управления жизненным циклом продукции (PLM-систем), используемые технологии и практика их применения. Представлен ряд разработчиков технологий для PLM-систем, включая: General Electric, Siemens, Microsoft, Oracle, ABB, SKF.

Ключевые слова: PLM-система, цифровой двойник, цифровой поток, машинное обучение, периферийные вычисления, цифровое послепродажное обслуживание оборудования.

Содержание понятия «жизненный цикл продукции» (Product Lifecycle) как совокупности процессов, выполняемых по отношению к этой продукции с момента выявления потребностей в ней общества (или конкретного заказчика) и заканчивая ее использованием, вплоть до момента ее утилизации или вывода из эксплуатации, оставалось неизменным с момента его возникновения. Этого нельзя сказать о содержании понятия «управление жизненным циклом продукции» (Product Lifecycle Management, PLM), которое претерпело ряд изменений со времени своего появления. Эти изменения были в значительной степени обусловлены развитием технологий, которые применяются в процессе управления жизненным циклом (ЖЦ) продукции.

В настоящее время встречаются разные определения понятия «управление ЖЦ продукции», но, сделав некоторые обобщения, можно сказать, что оно означает, прежде всего, применение производственными компаниями современных информационных технологий для формирования, контроля и использования массивов данных, собираемых по определенным видам продукции на всех этапах ее ЖЦ, включая проектирование, производство, эксплуатацию и утилизацию или вывод из эксплуатации, а также создание возможности отслеживать прохождение отдельными партиями или единицами этой продукции различных этапов ЖЦ.

Основными целями PLM-систем являются:

- обеспечение требуемого качества выпускаемой продукции;
- максимально быстрое прохождение продукцией всех этапов ЖЦ;
- сокращение операционных издержек на каждом из этапов ЖЦ.

Используемые с этими целями методы должны обеспечивать интеграцию собранных данных и представление их в форме, удобной для всех пользователей (проектировщиков, производителей, заказчиков, субподрядчиков, потребителей и т.д.), а также

быстрый и надежный способ доступа пользователей к данным, в том числе в удаленном режиме, независимо от места их нахождения.

Развитие PLM-систем на основе внедрения новейших информационных технологий является одним из основных направлений «цифровой трансформации» экономики в целом.

PLM-системы: новые технологии и сервисы

Все более широкое применение в системах PLM находят технологии промышленного Internet. При этом стимулом для расширения их применения является совершенствование используемых технических средств сбора данных, а также методов анализа и интерпретации собранной информации.

Развиваются методы виртуального моделирования физических объектов и технологических процессов.

Начинают использоваться специальные технологии, направленные на упрощение и ускорение некоторых процессов ЖЦ. Речь идет, например, о частичном переносе задач по первичной обработке собранных данных из «облака» на корпоративный уровень, что дает возможность анализировать больше данных в реальном или близком к этому времени, а также о внедрении способов более быстрой разработки программных приложений, используемых на различных этапах ЖЦ.

Отдельно следует сказать о комплексе основанных на цифровых технологиях сервисов, которые во все большем объеме начинают предоставляться промышленными компаниями покупателям их продукции на этапе ее эксплуатации и позволяют решать многие возникающие на этом этапе проблемы.

Остановимся на некоторых из перечисленных направлений.

Методы и инструменты анализа данных

Сбор и обработка данных о техническом состоянии производственного оборудования на этапе производства продукции осуществляется с помощью

Закон жизненного цикла.

Что бы ни случилось завтра, оно не должно отравить сегодня. Что бы ни случилось вчера, оно не должно задумывать завтра. Мы существуем в настоящем, и нельзя его презирать.

Поль Моран

технологии промышленного Internet. Своевременный и точный анализ дает возможность проводить упреждающие ремонты и техническое обслуживание оборудования, что обеспечивает его бесперебойную эксплуатацию. Технологии промышленного Internet позволяют руководству и инженерно-техническому персоналу предприятий получать результаты анализа данных практически в реальном времени и в удаленном режиме, вне зависимости от того, где находится производство или они сами.

Развитие промышленного Internet идет, во-первых, в направлении расширения технических возможностей и повышения надежности чипов, встраиваемых в изделия и производственное оборудование для сбора данных, а во-вторых, в направлении применения более совершенных аналитических средств для обработки поступающих данных.

Примером усовершенствования технических средств сбора данных может служить разработка «интеллектуального датчика» (Ability Smart Sensor), выпущенного на рынок в 2017 г. компанией ABB. Датчик предназначен для контроля низковольтных (до 380 В) асинхронных двигателей. В отличие от обычных датчиков, которые могут оценивать один или два параметра, ASS отслеживает такие данные, как уровень вибрации, температура, скорость вращения ротора, напряжение, нагрузка (или перегрузка) двигателя, потребление энергии. При этом потребление энергии оценивается с достаточно высокой точностью: $\pm 10\%$.

Датчик имеет размеры пластиковой банковской карты и легко крепится на двигателе. Собранные данные пересылаются с использованием беспроводной технологии Bluetooth на планшет, а затем — на облачные серверы ABB. Данные обрабатываются в Центре управления с помощью специально разработанных для этой цели программ. Далее, данные о техническом состоянии двигателя передаются либо на смартфон, либо на портал клиента. Если система обнаруживает отклонение заданных параметров от нормы, оператору посылается соответствующее извещение, что позволяет предпринять необходимые действия для предотвращения отказа двигателя. Применение ASS позволило сократить время простоя двигателей до 70% и увеличить срок их эксплуатации до 30%. Используя полученные данные для оптимизации работы двигателей, можно добиться уменьшения электропотребления более чем на 10% (<http://www.abb.ru>).

Среди новых аналитических средств, применяемых для анализа собранных данных, следует вы-

делить, прежде всего, когнитивные технологии, к которым относят методы искусственного интеллекта (Artificial Intelligence) и «машинного обучения» (Machine Learning). Задачей методов искусственного интеллекта в широком плане является воссоздание с помощью вычислительных систем разумных рассуждений и действий, характерных для человека. Возможности искусственного интеллекта реализуются через методы «машинного обучения». При этом машина не программируется в привычном смысле этого слова, а обучается на основе модели, заданной человеком, и набора примеров, в которых можно выделить определенные закономерности, выявить причинно-следственные связи между поступающими данными и результатами. В процессе обучения формируются алгоритмы, которые потом используются для анализа вновь поступающих данных.

В настоящее время исследования и разработки в области когнитивных технологий ведутся в основном с использованием искусственных нейронных сетей, которые имеют такую же структуру соединений, как и нейроны мозга. Для обучения нейронных сетей требуются очень большие массивы данных, которые в избытке формируются при сборе данных устройствами промышленного Internet.

Когнитивные методы анализа данных позволяют анализировать намного большее число факторов, чем традиционные методы анализа. Это повышает эффективность сделанных с их помощью оценок и прогнозов наступления нежелательных событий (таких как отказ оборудования), что вносит существенный вклад в сокращение операционных издержек предприятий в самых разных отраслях промышленности. Снижение операционных издержек является одной из главных целей как систем промышленного Internet, так и PLM-систем в целом.

С учетом того, что на производственных предприятиях поток разнородных данных, поступающих от многочисленных интеллектуальных устройств, постоянно увеличивается вместе с совершенствованием этих устройств и применением новых программных приложений, спрос на программные продукты, позволяющие использовать когнитивные технологии, очень высок.

В то же время методы искусственного интеллекта сложны для разработки, а их создание требует большого числа квалифицированных специалистов. Поэтому производственные компании, даже самые крупные, имеющие большое число программистов и выпускающие собственные программные продукты, предпочитают не разрабатывать такие методы своими силами, а пользоваться услугами крупных ИТ-компаний, заключая с ним соответствующие партнерские соглашения.

Разработкой методов искусственного интеллекта занимаются практически все крупные мировые ИТ-компании, которые встраивают эти программные продукты в свои платформы: Microsoft (Azure Machine Learning), IBM (IBM Watson IoT), Amazon

(Amazon AWS IoT), PTC (PTC ThingWorx), Oracle (Oracle AI Platform Cloud Service) и т. д. [1]. Разработкой когнитивных методов занимается также большое число средних ИТ-компаний и стартапов.

Популярным среди крупных промышленных компаний является облачное решение Microsoft Azure Machine Learning, которое позволяет строить и использовать сложные модели машинного обучения в достаточно простой и наглядной форме. Этим решением в 2018 г. начали пользоваться два промышленных гиганта (и одновременно — крупные разработчики PLM-решений) — американская корпорация General Electric (GE) и немецкий концерн Siemens AG. В соответствии с близкими по содержанию соглашениями, заключенными этими компаниями с компанией Microsoft, разработанные ими программные платформы (GE Predix и Siemens MindSphere) будут доступны из облака Microsoft Azure Cloud. Эти платформы будут интегрированы с платформами Microsoft, что даст клиентам этих промышленных компаний доступ к облачным сервисам Microsoft, включая сервисы обработки данных с использованием методов машинного обучения. Обе компании будут совместно с компанией Microsoft продвигать на рынок отраслевые приложения, разработанные на их платформах и на платформе Microsoft Azure [2]. Дополнительно соглашение между Microsoft и Siemens включает условия об использовании последним всех сервисов Microsoft не только в ЦОД(ах) компании Microsoft, размещенных в публичном облаке, но и в корпоративном ЦОД компании Siemens. Для технической реализации этой возможности будет применяться облачная платформа Microsoft Azure IoT Edge, обеспечивающая контроль подключенных периферийных устройств и периферийных вычислений.

В 2018 г. концерн Siemens заключил еще одно партнерское соглашение с не очень крупным, но уже известным американским разработчиком когнитивных методов анализа данных — компанией SparkCognition, Inc. Компания разрабатывает решения главным образом для промышленных компаний (одним из ее клиентов является корпорация Boeing). По условиям соглашения компания SparkCognition будет создавать новые приложения для различных отраслей промышленности на базе платформы Siemens MindSphere [3].

Вычисления на краю сети

Тенденция повышения доли «периферийных» (граничных) вычислений или «периферийного компьютеринга» (edge computing) обусловлена, прежде всего, расширением применения производственными компаниями методов промышленного Internet и повышением технических возможностей устройств, используемых для сбора данных, что приводит к постоянному нарастанию потока собираемых данных и, соответственно, повышению стоимости их пересылки и хранения в облаке. Помимо этого, на пересылку и обработку данных требуется время, которо-

го может не хватать в случае необходимости принять срочное решение, например, при аварийных ситуациях на производстве или на транспорте. Исходя из этого, пользователи ведут поиск разумного баланса между обработкой данных в облаке и периферийных вычислений. При этом ведется разработка специальных программных продуктов для управления периферийными устройствами и передачей данных между периферией и облаком.

Так, компания Microsoft в 2018 г. выпустила платформу Azure IoT Edge, которая позволяет распределять вычисления между облаком и конечными устройствами. На платформе Azure IoT Edge могут работать алгоритмы искусственного интеллекта, которые входят в набор облачных сервисов службы Microsoft Cognitive Service. Сервисы работают непосредственно на устройствах, подключенных к корпоративной сети, без их подключения к облаку. Платформа позволяет контролировать все подключенные к сети устройства, а также передачу данных между периферией и облаком из единого центра. Данные собираются и обрабатываются в локальном шлюзе, а при необходимости передаются через этот шлюз на серверы службы Azure Analysis Services в облаке. Платформа позволяет устройствам Internet вещей обрабатывать данные в режиме, близком к реальному времени, и обмениваться информацией с другими подключенными устройствами, что дает возможность принимать более быстрые решения на периферии и отправлять в облако только информацию, важную для дальнейшего анализа [4].

Помимо использования платформы Azure IoT Edge, Siemens ведет самостоятельную разработку отдельных отраслевых приложений для обработки данных на периферии. Так, в августе 2018 г. компания представила свой программный продукт Siemens Industrial Edge, который позволяет проводить первичную обработку данных, собранных с устройств, размещенных на металлообрабатывающих станках с ЧПУ, непосредственно на этих устройствах, после чего данные передаются в автоматизированные системы управления предприятием (<https://www.automation.com>).

Разработкой программных продуктов для периферийных вычислений занимается и General Electric. Так, на базе своей платформы Predix и процессоров Intel® Core™ i7 в 2016 г. General Electric разработала платформу GoLINC, которая предназначалась для сбора и анализа данных, снятых с датчиков и видеокамер локомотивов. Первичная обработка таких данных проводится в пограничном шлюзе с целью получения предварительных прогнозов развития событий. После обработки на периферии данные пересылаются для дальнейшего, более глубокого анализа в так называемые «центры оптимизации железнодорожных перевозок». В платформу GoLINC встроены методы искусственного интеллекта, сделавшие локомотивы, на серверах которых они используются, намного более «умными».

В 2017 г. GE выпустила пакет программ под общим названием Predix Edge для применения в самых различных отраслях промышленности. В пакет вошли три программных продукта:

- *Predix Edge Manager* позволяет контролировать всю совокупность подсоединенных к корпоративной сети устройств (число которых может составлять до 200 тыс. ед.) из единого центра;
- *Predix Machine* предназначен для обеспечения обработки данных на устройствах, размещенных непосредственно на оборудовании предприятия-клиента или в пограничных шлюзах с учетом отраслевой принадлежности и потребностей конкретного клиента;
- *Predix complex event processing (CEP)* предназначен для ускоренной и эффективной обработки множества сложных событий. С этой целью проводится мониторинг, регистрация и фильтрация событий, составляются отчеты о событиях.

По мнению большинства аналитических компаний, работающих на рынке цифровых технологий, тенденция к увеличению объемов обработки данных на периферии получит в ближайшие годы дальнейшее развитие. Так, эксперты Gartner считают, что доля периферийных вычислений, которая в 2017 г. составляла около 10%, увеличится к 2022 г. до 50% (<https://www.gartner.com>). Есть и более радикальные прогнозы. Известный производитель компьютерной техники корпорация Dell считает, что обработка данных «в центре» вообще скоро потеряет актуальность. Корпорация намеревается извлечь выгоду из этой тенденции, в связи с чем создала специальное подразделение по разработке технологий Internet вещей, используемых для анализа данных в реальном времени, и намеревается в течение трех лет вложить в эти разработки 1 млрд. долл. США (<http://www.theregister.co.uk>).

Платформы для разработки приложений с минимальным кодированием

В последнее время большую популярность приобрели платформы, которые называют либо «платформами для разработки приложений с минимальным кодированием», либо «платформами для разработки приложений с минимальным программированием» (Low-code development platforms — LCDPs). На основе таких платформ можно разрабатывать программные приложения, полностью исключив или максимально сократив процесс кодирования, то есть процесс написания программного кода, скриптов с целью реализации определенного алгоритма на определенном языке программирования. Создание приложений на таких платформах осуществляется через визуальные инструменты (конструкторы). Развертывание, обновление и интеграция приложений выполняются автоматически.

Скорость и низкая стоимость разработки приложений являются главным преимуществом таких платформ. Важным достоинством является отсутствие необходимости привлекать к этой работе программистов. В быстро меняющихся условиях

бизнеса эти преимущества ценятся предпринимателями, и применение таких платформ быстро растет. По оценкам Forrester Research от 2016 г., объем продаж на рынке таких платформ в 2020 г. составит 15,5 млрд. долл. США (8-кратный рост по сравнению с 2015 г.) (<https://www.forrester.com>).

Разработкой таких платформ занимаются как крупные многопрофильные ИТ-компании (например, Oracle) так и средние специализированные компании. С учетом хороших перспектив их использования интерес к предложению такого рода услуг проявляют и производственные компании, прежде всего, крупные, в которых разрабатываются ИТ-продукты.

Так, General Electric в 2017 г. выпустила собственный пакет программ Predix Studio с функцией разработки приложений с минимальным программированием. Этот пакет позволяет клиентам самостоятельно разрабатывать приложения на базе комплекса решений GE Asset Performance Management suite (решения по управлению производительностью активов), основанных на применении методов искусственного интеллекта и машинного обучения.

Концерн Siemens пошел путем приобретения уже действующей специализированной ИТ-компании Mendix (США). Mendix — компания со штатом сотрудников 400 человек, разработчик одноименной платформы с минимальным программированием. Платформа Mendix позволяет разрабатывать приложения в 10 раз быстрее, чем традиционные технологии. Компания считается одним из лидеров на этом рынке. Соглашение с концерном Siemens о поглощении этой компании было заключено в 2017 г., но окончательно вступит в силу в 2019 г. Siemens рассчитывает, что это приобретение позволит пользователям платформы MindSphere разрабатывать собственные приложения быстрее и дешевле, а концерну — расширить свою долю на рынке цифровых технологий. Siemens собирается инвестировать в разработку независимых продуктов Mendix, а также поддерживать клиентов, работающих с этой платформой. [5]

Виртуальное моделирование физических объектов и технологических процессов

Все большее место в PLM-системах занимают методы виртуального моделирования, позволяющие создавать виртуальные (цифровые) двойники деталей, изделий, оборудования, технологических процессов, цехов и заводов. Чаще всего цифровые двойники используются на стадии проектирования изделий. Создание цифровых двойников изделий, готовящихся к производству, характеристики которых точно соответствуют реальной продукции, и их испытание в виртуальной среде на порядок сокращает потребность в создании, реальных опытных образцов изделий и проведении их натуральных испытаний, а это значительно ускоряет принятие технических решений и сокращает стоимость проектных работ в целом.

Важным преимуществом использования цифровых двойников является возможность моделировать

состояние (поведение) объекта при различных вариантах изменения условий его производства или эксплуатации (что произойдет, если...). Помимо прочего, использование виртуального моделирования на стадии проектирования позволяет привлекать к проектной работе территориально удаленных сотрудников или консультантов.

Цифровой двойник может воспроизводить состояние реального физического объекта в любой момент на протяжении всего жизненного цикла изделия, если в период его эксплуатации корректировать цифровую модель с учетом поступающих новых фактических данных о его состоянии и производимых с ним действиях (обслуживание, ремонт). Двойник может включать информацию о технологиях, используемых для изготовления реального изделия, данные о проведенных испытаниях и другую информацию, которая может оказаться важной при создании новых модификаций изделия.

Цифровые двойники могут использоваться практически на всех стадиях ЖЦ продукции машиностроительных предприятий, включая стадию ее эксплуатации на предприятиях покупателей этой продукции. При этом цифровые модели могут создаваться как производителем соответствующей продукции, так и ИТ-подразделением покупателя или ИТ-компанией, предлагающей такие услуги на рынке информационных технологий. На этапе эксплуатации продукции двойники используются, как правило, для мониторинга технического состояния реальных изделий.

Начало широкому использованию цифровых двойников в промышленности было положено General Electric (GE). Компания создает двойников на базе своей программной платформы Predix, выпущенной в 2013 г. General Electric считает, что каждое изготовленное изделие должно иметь своего цифрового двойника, который является своеобразным паспортом изделия и должен сопровождать его вплоть до утилизации или снятия с эксплуатации. К 2018 г. компания разработала в общей сложности 1,2 млн. цифровых двойников произведенных ею авиадвигателей, газовых турбин и локомотивов (<http://www.4-traders.com>).

Двойники применяются как на собственных предприятиях GE для проектирования продукции, мониторинга оборудования и процесса производства, так и для послепродажного обслуживания произведенной продукции. На базе платформы Predix к 2018 г. разработано 120 программных приложений для разных отраслей промышленности (<https://www.computerweekly.com>).

В 2018 г. General Electric выпустила новый программный продукт — the Digital Twin Analytics Workbench, который включает набор алгоритмов машинного обучения и шаблоны, позволяющие ускорить и облегчить создание цифровых двойников, а также совершенствовать эти модели на протяжении всей их «жизни».

Большую роль в развитии концепции цифровых двойников сыграл и концерн Siemens. Разработкой

методов виртуального моделирования и других программных продуктов для PLM-систем здесь занимается специальное подразделение — Siemens PLM Software («Программные продукты для PLM-систем»). Программными продуктами этого подразделения широко пользуются как собственные предприятия концерна, так и другие предприятия, работающие в области электротехники, транспорта, энергетического оборудования и других отраслей. Все пакеты программ для создания и контроля цифровых двойников основаны на платформе Siemens MindSphere, обновленная версия которой была представлена в 2018 г. В частности, для создания цифровых двойников используется пакет программных решений Teamcenter и система автоматизированного проектирования NX.

Teamcenter является самым известным и широко применяемым программным продуктом Siemens. Он предназначен не только для создания виртуальных моделей, но также для оптимизации использования ресурсов предприятия и ускорения вывода продукции предприятия на рынок. Продукт используется, в том числе для создания единых баз данных, необходимых для решения этих задач, и обеспечения доступа к ним пользователей. С помощью решений Teamcenter удаленные группы специалистов, работающие над общим проектом, могут общаться и обмениваться информацией в режиме реального времени. Функции Teamcenter легко интегрируются с уже имеющимися информационными системами.

Обе представленные компании (GE и Siemens) считают, что следует создавать и использовать виртуальные модели изделий на всех стадиях их ЖЦ и при этом обеспечивать обмен данными между цифровыми двойниками, а также их непрерывное обновление на основе поступления реальных данных об изделиях и процессе их производства. Таким образом, будет формироваться непрерываемый «цифровой поток» (digital thread), сопровождающий реальную продукцию на всех этапах ее ЖЦ. Анализ этого цифрового потока позволит оптимизировать всю цепочку создания добавленной стоимости конкретного продукта, а также усовершенствовать его технические характеристики на этапе проектирования следующих партий аналогичных изделий.

Разработкой и внедрением цифровых технологий, в том числе методов моделирования изделий и процессов, занимаются и другие крупные производственные компании. Пока не все из них осуществляют управление полным жизненным циклом своей продукции, но все идет именно в этом направлении.

Этап эксплуатации готовой продукции на предприятии покупателя: послепродажный сервис

Вместе с развитием и применением новых технологий претерпевал изменения круг задач, решаемых PLM-системами. Эти изменения коснулись всех этапов ЖЦ продукции всех предприятий, но наибольшие изменения произошли на последнем этапе

жизненного цикла продукции машиностроительных предприятий, выпускающих на рынок оборудование, которое используется его покупателями для производства товаров, строительства различных объектов или предоставления услуг.

Традиционно, в «доцифровую эпоху» послепродажное обслуживание таких видов продукции со стороны производителя ограничивалось поставкой запчастей и проведением гарантийного и постгарантийного ремонта. Применение современных технологий позволило наряду с традиционным обслуживанием предлагать новые виды сервиса, в том числе с использованием описанных выше методов и инструментов.

Объединяя новые виды сервиса с традиционными видами услуг, компании-производители фактически берут на себя обязательства по обеспечению бесперебойной эксплуатации поставленной техники. При этом контракты на такое комплексное обслуживание, как правило, заключаются на более длительные сроки, чем традиционные контракты, часто — на весь жизненный цикл изделия, то есть на 20–30 лет и более. Другими словами, речь идет о «пожизненном» послепродажном обслуживании изделия.

Такое обслуживание осуществляют, например, все без исключения крупные мировые производители авиадвигателей (UTX, Rolls Royce, General Electric, Honeywell). Каждая из этих компаний обслуживает тысячи двигателей своего производства. Пионером обслуживания авиадвигателей на протяжении всего периода их эксплуатации была компания Rolls-Royce, которая еще в 1990-е годы предложила авиакомпаниям свой сервис TotalCare («все включено»). Программа включала в основном техническое обслуживание двигателей: профилактику, оценку технического состояния судна с использованием имеющихся в тот период технических средств, мелкий ремонт, а также полный капитальный ремонт. Позже программа обслуживания была дополнена методами промышленного Internet (в том числе на основе использования облачного решения Microsoft Azure IoT Suite), а еще позже, уже в 2017 г., методами машинного обучения, для чего были заключены соответствующие соглашения с компанией Microsoft по использованию ее продукта Cortana Intelligence Suite.

Сейчас обслуживание авиадвигателей и воздушных судов выходит на уровень использования цифровых двойников. Помимо General Electric этим занимается, например корпорация Boeing, которая в 2017 г. создала специальное сервисное подразделение по обслуживанию флота воздушных судов на базе цифровых двойников и предиктивной аналитики.

Комплексное обслуживание своей продукции также осуществляют крупные производители:

- железнодорожных локомотивов (Siemens, General Electric, Alstom, Bombardier и др.);

- газовых и ветровых турбин (General Electric, Siemens, Alstom, Vestas, Sinovel и др.);
- горнодобывающего оборудования (Komatsu, Joy Global, Terex Corporation, XCMG и др.);
- автотранспорта, строительной и спецтехники (Caterpillar, Volvo, Konecranes и др.);
- сельскохозяйственных машин (включая John Deere, Claas, CNH Global NV, Garford Farm Machinery, AGCO Corporation, HORSCH Maschinen GmbH и др.);
- электротехнической продукции и робототехники (ABB, Fanuc и др.);
- лифтов для высотных зданий (включая ThyssenKrupp, Schindler, Otis и др.);
- станков (включая HAAS Automation, COMAN Group, Fanuc, Finn-Power, Nakamura-Tome и др.) и т. д.

Комплексное обслуживание продукции предлагается также производителями отдельных элементов оборудования. Например, компании AB SKF и Schaffler в больших масштабах осуществляют комплексное послепродажное обслуживание выпускаемых ими шарикоподшипников и узлов вращения.

Среди цифровых услуг, пользующихся наибольшим спросом, являются услуги по вводу оборудования в эксплуатацию, а также удаленный мониторинг технического состояния оборудования, прежде всего, сложной техники и техники, работающей на труднодоступных производственных площадках и в отраслях с высоким уровнем аварийной опасности.

Виртуальный ввод в эксплуатацию нового оборудования представляет собой виртуальную отладку оборудования на предприятии покупателя перед запуском новых машин. Отладка в виртуальном режиме существенно снижает риски реального начала эксплуатации машин. Виртуальный запуск особенно ценится на конвейерном производстве, поскольку устраняет необходимость надолго отключать конвейер.

Программные продукты для ввода в эксплуатацию разрабатываются многими крупными промышленными компаниями. Например, Siemens использует для этого несколько своих решений. Программное решение Plant Simulation является частью набора программ Technomatix¹. Другое решение разработано на симуляционной платформе SIMIT. Оно используется для выполнения необходимого численного моделирования, виртуальных испытаний и виртуального запуска технологических линий и процессов, а также для обучения операторов с использованием цифровых двойников оборудования [6].

Другой пример предоставления этого вида услуг — компания ABB, которая имеет несколько собственных программных продуктов, используемых для ввода оборудования в эксплуатацию. Все они разработаны на основе платформы ABB Ability™. Программы RobotStudio и SafeMove2 используются для виртуального моделирования и отладки технологических

¹ Technomatix — это комплексный пакет решений для цифрового производства, объединяющий все области производства и разработки изделия, от схемы производственного процесса и проектирования, моделирования и проверки процессов до производства. Основанный на принципах управления жизненным циклом изделия (PLM) производственной платформы Teamcenter, Technomatix предлагает набор легко конфигурируемых производственных решений (<https://www.plm.automation.siemens.com>).

процессов и оборудования, включая робототехнику, а программа Zenon — для обучения операторов нового оборудования с акцентом на анализе эффективности использования нового оборудования.

Для осуществления функций удаленного мониторинга крупные компании создают специальные центры, которые могут специализироваться на отдельных видах оборудования, отдельных отраслях промышленности или на определенных регионах. Такие центры могут создаваться и для контроля оборудования одного крупного клиента.

Примером крупного моноотраслевого центра удаленного мониторинга может служить центр контроля и диагностики подразделения GE Power компании General Electric (GE Power Management & Diagnostics Center). Подразделение Ge Power занимается производством энергетического оборудования, а также разработкой сопутствующих технологий и обслуживанием своей продукции. Центр контроля и диагностики обслуживает оборудование тепловых электростанций, включая оборудование других производителей, если оно установлено вместе с оборудованием производства GE. Центр находится в г. Атланта (США) и является крупнейшим в своем роде. Он обслуживает 5 тыс. турбин, генераторов и других видов оборудования, работающих на 950 электростанциях, расположенных в более чем 60 странах мира, включая США. Сотрудники центра не только следят за данными, поступающими в центр с подключенного оборудования, но на основе накопленной информации постоянно работают над совершенствованием алгоритмов, применяемых для анализа этих данных.

Ежедневно 1 млн. датчиков, размещенных на подконтрольном оборудовании (на одной большой газовой турбине может быть размещено до 250 различных датчиков), посылают в центр 200 млрд. элементов данных. Часть данных поступает в центр после предварительной обработки на периферии — в устройствах, размещенных непосредственно на оборудовании. Каждый день центр обрабатывает в среднем 125 ТБ данных. Данные обрабатываются с помощью пакета решений GE Asset Performance Management suite, предназначенного для диагностики и оптимизации работы оборудования. В пакет встроены методы машинного обучения [7].

Информация о выявленных проблемах доводится до операторов станций. Частично эти проблемы решаются дистанционно, в других случаях на объект высылаются технический специалист или выдаются инструкции по устранению проблемы техникам, работающим на местах. Своевременное выявление проблем экономит значительные суммы, поскольку из-за перерывов в электроснабжении на электростанции налагается штраф.

Примером центров мониторинга для более массовой продукции могут служить центры шведской компании АВ SKF. Компания является крупнейшим производителем подшипников, узлов вращения, уплотнений и систем смазки для различного промыш-

ленного и энергетического оборудования. Компания создала 10 региональных центров дистанционного мониторинга, поскольку продукция компании используется в различных регионах мира. SKF относится к числу промышленных компаний, разрабатывающих собственное ПО, которое применимо не только к подшипникам и узлам вращения, но и к другим механизмам и машинам, прежде всего, к разным типам вращательного оборудования. АВ SKF также разработала несколько видов оригинальных датчиков под брендом SKF Insight для сбора данных, в том числе датчиков для ветровых турбин и для железнодорожных колесных пар. В настоящее время центры SKF осуществляет мониторинг около миллиона разнообразных элементов оборудования в самых различных отраслях промышленности и на транспорте.

Отличительной особенностью работы центров удаленного мониторинга SKF является то, что любая компания, расположенная в соответствующем регионе, может не только заключить договор о пользовании его услугами, но и протестировать свое оборудование в разовом порядке. Можно и просто получить консультацию у сотрудников центра по поводу возможностей использования технологий удаленного контроля.

Комплексный послепродажный сервис: выгоды сторон

Комплексный послепродажный сервис выгоден обеим сторонам: и покупателю, и производителю оборудования. Приобретение всего комплекса услуг из одного источника удобно для покупателя. Помимо получения новых видов сервиса покупатель получает дополнительные возможности оптимизировать свои операционные расходы. При этом, покупая новые виды услуг у продавца оборудования, покупатель может быть уверен в том, что на него будут работать еще и знания и опыт продавца, поскольку никто не может знать продукт лучше, чем тот, кто его спроектировал и произвел.

Экономия на операционных издержках может составить значительные суммы. Например, компания SKF показала, что применение ее датчиков SKF Insight для оценки уровня вибрации ветровых турбин и обработка этих данных с помощью программ, разработанных компанией, позволяет сокращать время простоя турбин на 1%, а операционные издержки — на 2%, что дает общую экономию на каждой турбине в 5 тыс. евро в год. С учетом того, что ветровые парки могут насчитывать 100 и более ветровых установок, это может дать серьезную экономию владельцу парка. В целом же, по подсчетам SKF, контроль ее продукции на предприятиях клиентов сэкономил для них в 2017 г. около 270 млн. долл. США (<http://www.skf.com>).

Кроме сокращения операционных расходов, покупатель получает возможность сократить и капитальные расходы, поскольку в результате надежного контроля может быть продлен срок службы оборудования.

Послепродажный сервис в течение всего срока эксплуатации машин частично решает для покупате-

ля и проблему нехватки квалифицированных инженерных кадров.

Продажа ИТ-услуг очень выгодна и компаниям-производителям оборудования, прежде всего, в силу того, что это приносит существенную дополнительную прибыль.

Продажи таких услуг подразделением GE Digital в 2017 г. составили в целом 4 млрд. долл. США, включая 550 млн. долл. от продаж программных продуктов Predix (общий объем инвестиций в разработку этой платформы в 2012–13 гг. составил 1,2 млрд. долл. США) (<https://www.crn.com>).

Объем продаж подразделения Siemens Digital Factory в 2017 г. был еще больше: 11,4 млрд. евро. Рост по сравнению с 2016 г. составил более 12% (<https://internetofbusiness.com>).

Продажи цифровых услуг компаний ABB в 2016 г. составили 19 млрд. долл. США, что составило 55% от общего объема продаж этой компании (<https://internetofbusiness.com>).

При этом надо учитывать то, что прибыль от ИТ-услуг — это дополнительная прибыль, которую приносит уже проданная основная продукция. Получение такого же объема дополнительной прибыли за счет повышения объема продаж оборудования, тем более на высококонкурентных рынках, потребовало бы еще больших усилий и затрат.

Исходя из этого, компании-производители делают все возможное, чтобы не потерять занятых позиций и расширить свое присутствие на этом рынке. Они стараются расширять не только набор предлагаемых ИТ-услуг, но и сферу их приложения. Так, практически все крупные производственные компании предлагают услуги по мониторингу не только продукции своего производства, но и аналогичной продукции других производителей, поскольку значительная часть покупателей их продукции использует одновременно оборудование от разных поставщиков. Нередко, в дополнение к услугам по мониторингу техники производители предлагают услуги иного характера. Например, крупные производители сельскохозяйственной техники (такие как John Deere), предлагают услуги по мониторингу погодных условий и состояния почвы на полях своих клиентов. С этой целью специалисты John Deere разработали специальные устройства, которые позволяют оценивать эти факторы. Полученные данные передаются на сайт компании, к которому имеют доступ покупатели техники, или на мобильные устройства представителей компаний-покупателей и т. д.

С другой стороны, расширение набора и качества ИТ-услуг способствуют формированию «лояльного покупателя» и, соответственно, увеличению продаж основной продукции производственных компаний.

Заключение

В последнее время в России многое делается для внедрения цифровых технологий в промышленности. В число передовых отраслей по разработке и внедрению таких проектов входит нефтегазовая отрасль. Так, на предприятиях «Танефть» и «Газ-

промнефть» внедрен ряд ключевых элементов «цифрового месторождения» и «цифрового предприятия». На нефтеперерабатывающем комплексе ТАНЕКО («Татнефть») реализуется проект по созданию «цифрового двойника» установки первичного фракционирования нефти. В стадии реализации находится ряд программ по цифровой трансформации производственных систем, включая внедрение когнитивных технологий. В дочернем предприятии «Роснефти» ВНИКТИнефтехимоборудование реализуется проект по созданию модели «гибридных двойников», которая должна существенно повысить безопасность эксплуатации производственных объектов и т. д. Происходят изменения и в других отраслях. Так, ФСК ЕЭС (Россети) сообщила о начале поэтапного внедрения сервиса цифрового проектирования систем управления подстанциями с использованием типовых решений с перспективой создания цифровых двойников. Трансмашхолдинг и компания SAP готовятся к открытию инновационной лаборатории, где одним из основных направлений исследований будет управление жизненным циклом локомотивов на основе цифрового двойника. «Росатом» объявил об инвестициях 3 млрд. руб. в несколько стартапов для создания решений на основе искусственного интеллекта.

Наконец, появился инструмент для создания цифровых двойников: отечественная компания «СИГНУМ» (резидент Сколково) включила создание трехмерного цифрового двойника в перечень стандартной функциональности своей платформы Winnum® для промышленного Internet вещей, существенно упростив создание трехмерных цифровых двойников. Перечень достижений и проектов можно продолжить.

Внедрение новых технологий пока не носит системного характера, необходимого для полной реализации концепции PLM. Вместе с тем, реализация этой концепции, особенно на этапе послепродажного обслуживания продукции, является жизненно необходимым условием для отечественных машиностроительных предприятий в свете стоящей задачи повышения российского несырьевого экспорта. Значительный экспортный потенциал имеют отечественные производители авиационной и военной техники, сельскохозяйственных машин, автомобилей. Но это именно те отрасли, где в мировой практике уже хорошо отработана новая бизнес-модель комплексного послепродажного обслуживания, к которой они приучили своих покупателей, что создаст для отечественных предприятий серьезные препятствия для выхода на международные рынки.

Летом 2018 г. было объявлено, что в России решением задачи разработки системы управления полным жизненным циклом изделия, включая этап его эксплуатации, займются госкорпорации «Ростех» и «Росатом». Для этого будет создано совместное предприятие, которое будет финансироваться как из бюджета

(субсидии Минпромторга РФ), так и внебюджетными средствами. Всего на проект рассчитывают выделить около 5 млрд. руб. Предполагается, что потребителями новых программных решений станут в первую очередь корпорации-разработчики и предприятия ОПК. Согласно плану, разработка системы займет около пяти лет (<http://www.comnews.ru/node/114022>).

Возможно, проблема создания PLM-систем в России будет решена. Правда, представляется необоснованно длинным срок предполагаемой разработки, с учетом того, что, с одной стороны, проблема не нова и уже решена во многих странах, а, с другой — она очень актуальна для российских компаний.

Список литературы

1. Аристова Н.И., Чадаев В.М. Обзор инновационных платформ IoT // Автоматизация в промышленности. 2018. №7.
2. Нагорный С.А. Облачная платформа Microsoft Azure — движущая сила Industrial // Автоматизация в промышленности. 2017. №12.
3. Соколов Д.И., Соловьев С.Ю. Роль открытой операционной системы IoT MindSphere в цифровой трансформации промышленных предприятий // Автоматизация в промышленности. 2018. №7.
4. GE and Microsoft Enter into their Largest Partnership to Date, Accelerating Industrial IoT Adoption for Customers. GE Newsroom. July 16, 2018.
5. Kyle Wigger. Microsoft launches Azure IoT Edge out of preview. Venture Beat. 2018. <https://venturebeat.com>
6. David Humphrey. Siemens Strengthens Its Digital Enterprise Position with Acquisition of mendix. 2018. <https://www.arcweb.com>
7. Mark Sen Gupta. Siemens Automation Summit Showcases Digitalization Solutions. 2018. <https://www.arcweb.com/>
8. Tomas Kellner. Mission Critical: GE's New Digital Center In Atlanta Is Using Data From Power Plants To Spot Trouble And Save Money. 2018. <https://www.ge.com>

*Рысина Валерия Николаевна — канд. экономич. наук, ведущий научный сотрудник
ФИЦ «Информатика и управление» РАН.
Контактный телефон (499) 135-44-88.
E-mail: valrys@yandex.ru*

АК «АЛРОСА» завершила проект по внедрению информационной системы управления производством Айхальского ГОК

Компания «АЛРОСА» и системный интегратор «Сумма технологий» завершили проект по созданию автоматизированной информационной системы управления производством Айхальского ГОК. С внедрением системы АК «АЛРОСА» получила единый источник данных по работе технологического оборудования и инструмент для анализа эффективности производственной деятельности.

Основной целью проекта было предоставление специалистам и руководству Айхальского ГОКа и аппарата управления «АЛРОСА» достоверной и детализированной информации по технико-эксплуатационным показателям работы оборудования, ключевым показателям эффективности и сбалансированности работы подразделений горно-обогатительного комбината: рудника «Айхал», двух обогатительных фабрик и промышленного энергоцеха.

В ходе проекта был организован автоматический сбор данных от систем управления технологическим оборудованием, систем энергоучета и информационных систем, используемых для управления горно-транспортным комплексом, буровыми работами, подземными горными работами, планирования работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования. Производственная информация консолидируется в унифицированном хранилище, выступающем в качестве единого источника технологических данных для производственных

служб и информационных систем АК «АЛРОСА». Детализированные данные по ключевым показателям эффективности выводятся на видеостены, расположенные в диспетчерских Айхальского ГОК и в Управлении АК «АЛРОСА», и передаются в производственные службы для анализа.

В системе на основании собранной информации формируются аналитические отчеты для оперативного контроля выполнения подразделениями ГОКа плановых производственных показателей, а также для анализа технико-эксплуатационных показателей горно-транспортного, горно-шахтного и технологического оборудования. Пользователям предоставляются регламентированные и предварительно сконфигурированные отчеты, а также возможность настроить собственные отчеты, содержащие необходимые конкретным специалистам данные в наиболее удобном формате.

Проект реализован на базе решений компании Schneider Electric. Функции сбора, обработки, хранения данных от технологического оборудования выполняются посредством платформы Wonderware. Подсистема производственного документооборота и управления бизнес-процессами реализована с помощью BPM-системы Skelta. Для создания функциональной модели производства АК «АЛРОСА», расчета и анализа производственных KPI используется система Ampla MES.

[Http://www.summatechnology.ru](http://www.summatechnology.ru)

Завершена модернизация системы управления процессом конвертирования Надеждинского металлургического завода

На Надеждинском металлургическом заводе ПАО «ГМК «Норильский никель»» завершен капитальный ремонт АСУТП передела конвертирования.

В существовавшей ранее системе управление процессом конвертирования осуществлялось операторами в ручном режиме со щитов управления методом выставления заданий на регуляторах и задатчиках. Щиты управления были установлены в трех разнесенных по территории отделения диспетчерских. Общий контроль за газовым трактом и другим оборудованием выполнялся из центрального диспетчерского пункта.

В рамках проекта устаревшие средства автоматизации заменены на современные, а все функции управления переведены в центральный диспетчерский пункт плавильного участка. Система построена с использованием программно-аппаратного комплекса Siemens Simatic PCS7.

Контроль и управление всеми агрегатами осуществляется в дистанционном режиме с двух станций оператора, установленных в центральном диспетчерском пункте. В АСУТП конвертирования в режиме реального времени отображается информация по состоянию и режимам работы агрегатов, контрольно-измерительных устройств и исполнительных механизмов. В случае возникновения неисправности, аварии, блокировки либо ситуации, приводящей к ним, система реагирует в соответствии с заложенной в нее программой и выдает команду на остановку, отключение либо переключение подконтрольных исполнительных устройств в безопасные режимы работы.

В системе предусмотрены также возможности для управления технологическим процессом локально, с сенсорных панелей оператора в местных диспетчерских пунктах и в ручном режиме. Связь между станциями оператора и со смежными системами осуществляется по сети Ethernet.

[Http://www.summatechnology.ru](http://www.summatechnology.ru)