

Круглый стол

Компоненты Индустрии 4.0: Цифровые двойники

В российской промышленной сфере медленно, но неуклонно набирают обороты процессы цифровизации, идущие в русле реализации глобальной концепции цифровой трансформации Индустрия 4.0. Эти процессы выдвигают на повестку актуальных преобразований такую задачу, как создание Цифровых двойников активов предприятия. За сегодняшним Круглым столом эксперты – представители IT-компаний, предлагающих программные решения и свои компетенции в этой области, а также представители промышленных предприятий, которые уже имеют успешный опыт освоения инструментов и подходов Индустрии 4.0, – поделятся своим мнением относительно того, какие возможности и перспективы открывает перед производителями технология Цифровых двойников и какую выгоду производственные предприятия могут получить от ее использования уже сегодня.

В Круглом столе принимают участие:

Игорь Егоров, заместитель генерального конструктора, ОКБ им. А. Люльки, филиал УМПО;
Владимир Жураховский, генеральный директор, ГК “ПЛМ Урал”;
Владимир Макаров, начальник отдела аэродинамики и термодинамики силовых установок, ФГУП “ЦИАМ им. П. И. Баранова” (ЦИАМ);
Сергей Макеев, руководитель проекта “Цифровая верфь”, АО “Средне-Невский судостроительный завод” (СНСЗ);
Олег Маковельский, технический директор по IoT, компания “Фабрика Цифровой Трансформации” (ФЦТ)
Петр Манин, технический директор, компания Autodesk в России и СНГ;
Иван Некрасов, архитектор программных решений, компания GE Digital;
Елена Никольская, руководитель направлений Индустрии 4.0: IoT и AR, компания PTC;
Андрей Никольский, руководитель направления PLM, компания “Продуктивные Технологические Системы” (ПТС);

Наталья Нильсен, технико-коммерческий консультант, компания Schneider Electric;

Адриан Парк, вице-президент по развитию бизнеса среди операторов-владельцев, компания Hexagon PPM;

Дмитрий Пилипенко, заместитель генерального директора, директор кластера “Топливо-энергетический комплекс”, компания SAP CIS;

Кирилл Пятунин, начальник конструкторского отдела систем инженерного анализа, ПАО “ОДК-САТУРН”;

Дмитрий Солонцов, технический директор, компания “Продуктивные Технологические Системы” (ПТС);

Олег Степанов, начальник сектора материальной части судового вооружения и устройств, АО “Северное ПКБ” (СПКБ);

Александр Тучков, технический директор, компания “Бюро ЕСГ”.

– Концепция Цифрового двойника в том понимании, которое мы вкладываем сегодня в это понятие, была описана еще около двух десятилетий назад. С тех пор она развивалась в тесной взаимосвязи с развитием существующих и появлением новых технологий в области виртуального представления физических объектов и способов передачи и анализа данных. Какие технологические компоненты на сегодняшний день входят в понятие Цифрового двойника применительно к сфере промышленного производства?

Адриан Парк, компания Hexagon PPM. Концепция Цифрового двойника развилась из принципа построения информационного хранилища, который возник еще в середине 1990-х годов, когда данные и документы о промышленном объекте начали оцифровывать, проверять, объединять и сделали доступными для поиска и навигации в 2D/3D-представлении с использованием подсветки объектов. Сегодня в основе Цифрового двойника

по-прежнему лежит общее централизованное хранилище данных, где накапливаются данные и документация о конфигурации промышленного объекта. К конфигурации объекта добавляются данные из транзакционных систем, таких как системы технического обслуживания и технического контроля, а также данные с датчиков (исторические, DCS или непосредственно с датчиков на рабочем оборудовании). Помимо хранилища данных или базовой системы управления данными двойник имеет следующие технологические компоненты:

- ▶ RESTful API (для облегчения взаимодействия с другими системами, участвующими в проекте или установленными в ИТ-среде);
- ▶ корпоративные сервисные шины (для организации обмена данными между Цифровым двойником и другими системами);
- ▶ инструменты проверки и промежуточного хранения данных в карантине до их загрузки в целевой Цифровой двойник;
- ▶ облачные технологии и web-клиенты, не занимающие места на дисках и позволяющие создавать простую систему распределенного доступа;
- ▶ периферийные вычисления для обработки данных в производственных условиях;
- ▶ Искусственный интеллект и машинное обучение;
- ▶ технология подключения сотрудников для предоставления доступа к Цифровому двойнику на рабочем месте и сбора информации в производственных условиях;
- ▶ инструменты визуализации, такие как виртуальная, дополненная и расширенная реальность.

Дмитрий Пилипенко, компания SAP. Концепция Цифровых двойников действительно не нова, однако она серьезно переосмыслена за последние несколько лет. Если опираться на “историческое” определение, Цифровой двойник – это виртуализированное, цифровое воспроизведение рабочего состояния конкретного физического объекта/процесса/системы, то есть в случае с промышленным оборудованием – это полноценная, актуальная, виртуализированная математическая модель реального объекта.

Построение целостной модели работы промышленного оборудования невозможно без информации об объекте и предполагает объединение различных категорий данных:

- ▶ проектно-сметной, конструкторской, эксплуатационной документации (ПСД), то есть всей документации, разработанной при создании актива, его капитальном строительстве, ремонте/реконструкции и эксплуатации;
- ▶ визуального представления актива и его компонентов (2D- и 3D-модели, технологические схемы, картографические модели и проч.), при этом требуется действительно высокая детализация компонент, например помимо основного технологического оборудования необходимы модели кабельных проводок, электротехнического оборудования, КИПиА, АСУ ТП, инженерных систем и т.д.;
- ▶ инженерных данных – характеристик, определяющих свойства объекта (паспортные данные, данные

диагностических обследований, граничные параметры режимов работы и т.п.);

- ▶ онлайн-данных – данных, получаемых в режиме, близком к реальному времени (преимущественно из АСУ ТП, КИПиА и САУ). Возможно использование данных, не охваченных системами автоматического сбора, которые получены с применением мобильных устройств. Именно сбор и использование данных в режиме реального времени позволяет повысить точность моделирования и снизить погрешность расхождения с реальным объектом до 5%.

Обязательной и ключевой составляющей являются также математические модели актива. Результаты моделирования с учетом инженерных и онлайн-данных используются для прогнозирования технического состояния оборудования и управления технологическими процессами. В некоторых случаях формируется не только физическая, но также и экономическая модель, позволяющая рассчитывать экономические показатели работы оборудования.

Натаалья Нильсен, компания Schneider Electric. Понятие Цифрового двойника начало зарождаться действительно около двадцати лет назад. Первые шаги на этом пути были сделаны с появлением трехмерного проектирования, которое значительно расширило возможности инженерных разработок, затем сделало возможным построение 3D-моделей и появление 3D-печати. Только после этого появились идеи применения цифровых технологий для виртуализации физических элементов в процессе управления производственными процессами. Этот тренд сразу же получил активное развитие – стали развиваться машинное обучение и Искусственный интеллект, технологии виртуальной и дополненной реальности. Сейчас все эти технологии входят в понятие “Цифровой двойник”, особую ценность приобретает возможность интеграции обширных массивов данных в единую модель. Наибольший эффект Цифровые двойники приносят при внедрении, начиная с самых ранних стадий – процесса проектирования и инженерных разработок, охватывая затем системы управления, производственные и экономические данные, стадию адаптации модели в процессе эксплуатации.

Активное развитие мобильных технологий, являясь спецификой сегодняшнего времени, также сказывается и на способах работы с Цифровыми двойниками. Если двадцать лет назад для применения цифровых технологий рассматривались, как правило, персональные компьютеры, то сейчас одно из ключевых условий пользователей – это возможность доступа к Цифровым двойникам с мобильных устройств. С активным развитием Интернет-технологий все более мобильным становится и персонал промышленных предприятий, получая возможность доступа к управлению активами из любого места. Компаниям-разработчикам необходимо иметь в виду и этот тренд и заботиться также о характеристиках “мобильности” Цифровых двойников и их доступности для широкого круга персонала.

Кирилл Пятунин, “ОДК-САТУРН”. Появление Цифровых двойников на предприятиях является естественным развитием происходящих на них процессов циф-



Игорь Егоров,
ОКБ им. А. Льюльки



Владимир Журавовский,
ГК "ПЛМ Урал"



Владимир Макаров,
ЦИАМ



Сергей Макеев,
СНСЗ

ровизации. Ввиду того что в России эти процессы идут с некоторым отставанием, мы только сегодня подошли к тому уровню технологий, которые позволяют нам говорить об интеграции всех цифровых моделей в единую взаимосвязанную систему. В первую очередь Цифровой двойник должен строиться на математических моделях технологических и производственных процессов, которые должны быть объединены в единую систему средствами Промышленного Интернета вещей. Только эта реализация уже позволит анализировать и оптимизировать работу оборудования и накапливать статистические данные для перехода на следующий уровень – предиктивный анализ и прогнозирование будущих состояний. С применением Искусственного интеллекта и машинного обучения систему можно сделать “умной”, то есть научить ее предлагать возможные варианты решений и сообщать о проблемах. Также Большие данные о производственных процессах очень полезны для Цифровых двойников разрабатываемых изделий, так как они дают информацию о реальных режимах обработки, геометрических характеристиках деталей, предоставляя таким образом возможность создания Цифровых двойников более высокого уровня точности.

Владимир Макаров, ЦИАМ. Согласно известному определению, концепция Индустрии 4.0 имеет шесть составляющих, три из которых – PLM, Big Data и Internet of Things – являются общепринятой основой и технологии Цифрового двойника, понимаемого как расширенная полиморфная поведенческая модель создаваемого или существующего физического объекта на разных стадиях его жизненного цикла. Остальными компонентами Индустрии 4.0, согласно этому определению, выступают Умная фабрика, Киберфизические системы и Интероперабельность (SMART Factory, Cyber-physical systems, Interoperability).

Иван Некрасов, компания GE Digital. Для конкретизации и более точного определения понятия Цифрового двойника, так же как и для любого программного продукта, удобно воспользоваться стандартной логикой структуризации информационной системы. Для этого необходимо получить ответы на три вопроса: что делает система, как она это делает и какую информацию она для этого использует. Ответы на них естественным образом выделяют три соответствующих компонента Цифро-

вого двойника – это логика работы (например, бизнес-процессы), математические методы (например, методы моделирования физических процессов объекта) и наконец, необходимые для функционирования данные и их структура.

Владимир Журавовский, ГК "ПЛМ Урал".

В настоящее время существует несколько основных определений Цифрового двойника изделия. В САЕ-подразделении ГК "ПЛМ Урал" принято определение, трактующее понятие Цифрового двойника как совокупность результатов численных расчётов и экспериментальных данных, полученных на всех этапах проектирования изделия, с учетом данных об условиях изготовления и эксплуатации, в том числе полученных через интерфейсы с датчиками, установленными в реальном изделии. В данном определении Цифровой двойник рассматривается в первую очередь с точки зрения экономической целесообразности его введения, а именно возможностей получения преимуществ при мониторинге реального ресурса изделия и его реальной эксплуатации (включая корректировку режимов работы). Исходя из такого понимания в состав Цифрового двойника входят такие компоненты, как: цифровой макет (электронные чертежи, модели, техподготовка и т.д.); цифровой прототип (совокупность всех 1D-4D-расчётов, результатов экспериментальных исследований и накопленного опыта эксплуатации); “препарированное” датчиками реальное изделие; интерфейс передачи данных.

Петр Манин, компания Autodesk. Прежде всего, это наличие трехмерной компьютерной модели изделия. Такая модель – база для всех дальнейших действий и сквозной передачи данных на всем жизненном цикле изделия. Кроме нее необходимо физическое и математическое описание процесса, который происходит с этим изделием и влияет на его желаемые характеристики. Таких характеристик может быть сотни и тысячи. Для того чтобы их достичь, подключаются сложные САЕ-системы. При этом расчеты зачастую столь сложны, что вычислительных возможностей десктопного компьютера оказывается недостаточно, поэтому суперкомпьютерные вычисления и обработка Big Data – тоже важная часть построения ЦД.

Игорь Егоров, ОКБ им. А. Льюльки. В сущности, Цифровой двойник любого технического объекта состо-



Олег Маковельский,
компания ФЦТ



Петр Маннин,
компания Autodesk



Иван Некрасов,
компания GE Digital



Елена Никольская,
компания РТС

ит из трех взаимно связанных частей: ЦД для технологического цикла разработки и доводки объекта, ЦД для производства и ЦД для технологического цикла эксплуатации. Причем для одного и того же объекта это фактически абсолютно разные цифровые представления. Связано это с тем, что указанные Цифровые двойники имеют качественно различные целевые функции, а следовательно, и функциональные возможности, уровень детализации цифровых моделей, необходимые исходные данные, взаимосвязи с разными по типу Цифровыми двойниками и т.д. и т.п. Следует особо отметить, что для конкретных объектов (автомобиль, корабль, самолет, двигатель) имеется своя специфика их Цифровых двойников. Это обусловлено их разной целевой функциональностью, кроме того любой технический объект имеет свой технологический цикл разработки и доводки, а также производства и эксплуатации.

Александр Тучков, компания “Бюро ЕСГ”. Вопрос довольно абстрактный. В зависимости от отрасли промышленности есть разные Цифровые двойники: Цифровой двойник изделия (самолета, автомашины, корабля, машиностроительного и приборостроительного изделия и т.п.); Цифровой двойник дискретного предприятия (верфи, машиностроительного и приборостроительного завода); Цифровой двойник предприятия с непрерывным технологическим циклом (нефтеперерабатывающего завода, атомной станции, химического производства) и так далее.

А вот то, какие технологические компоненты при этом используются, зависит от очень многих факторов. Но в первую очередь это системы PDM/PLM/VIM/СУИД, трехмерные модели с разной степенью детализации, панорамные изображения, полученные в результате трехмерного сканирования и, как ни странно, огромное количество документов в самых разнообразных форматах.

Олег Степанов, СПКБ. В судостроении активно начала внедряться технология виртуальной реальности как элемент концепции Цифрового двойника, что позволяет уже в процессе проектирования опробовать создаваемые решения и оптимизировать их, а также снизить риски принятия неверных решений.

Олег Маковельский, компания ФЦТ. Компания “Фабрика Цифровой Трансформации” в рамках понятия “Цифровой двойник” развивает концепцию так называемого

“гибридного Цифрового двойника”, смысл которой заключается в сочетании технологий численного моделирования и машинного обучения. У нас эта концепция получила название “комплексный Цифровой двойник”. Она разработана исключительно под задачи промышленного производства и эксплуатации, в основном для предприятий процессных (непрерывных, рецептурных) производств, энергогенерирующих компаний, эксплуатирующих технику добывающих или строительных организаций, а также машиностроительных компаний, производящих все виды техники, для которых Цифровые двойники открывают новые возможности для бизнеса и новые виды услуг.

Комплексный Цифровой двойник в зависимости от решаемых задач включает в себя следующий стек технологий:

- ▶ системное и численное моделирование;
- ▶ дополненная и смешанная реальность (AR/MR);
- ▶ машинное обучение и параметрическая оптимизация;
- ▶ вибрационная и частотная диагностика;
- ▶ унификация полевых подключений;
- ▶ унификация системной интеграции;
- ▶ Промышленный Интернет вещей (IIoT).

Дмитрий Солонцов, компания ПТС. Концепция Цифрового двойника, которая представляет собой логическое развитие концепции полного электронного определения изделия (ПЭОИ), полагается на уже существующие средства и решения – действительный цифровой макет изделия, выполняемый в САПР, электронную структуру изделия и ее конструктивное, технологическое, эксплуатационное представление в совокупности с данными о конструкции, технологии изготовления, эксплуатации в виде инструкций и регламентов, реализованных в PLM-системе. В портфеле продуктов компании РТС имеется полный набор решений, на основе которых можно построить Цифровой двойник. Это такие продукты, как:

- ▶ **Windchill Modeler** – построение системных моделей;
- ▶ **САПР Creo Parametric** – создание цифрового макета изделия и расчетов;
- ▶ **PLM Windchill** – хранение и управление данными об изделии на всех этапах жизненного цикла. Windchill хранит полное цифровое представление изделия;



Андрей Никольский,
компания ПТС



Наталья Нильсен,
компания Schneider Electric



Адриан Парк,
компания Hexagon PPM



Дмитрий Пилипенко,
компания SAP CIS

- ▶ **ThingWorx Foundation SCO** – IoT-платформа для разработки решений, ориентированных на конкретное предприятие;
- ▶ **ThingWorx Manufacturing Apps** – платформа для мониторинга оборудования и KPI производственных линий;
- ▶ **ThingWorx Analytics** – платформа для анализа, хранения данных и выполнения прогностических расчетов;
- ▶ **Vuforia** – платформа дополненной реальности.

Елена Никольская, компания ПТС. Важно понимать, что реализация Цифрового двойника — это не разовое мероприятие, а построение целой информационной структуры, постоянно развивающейся в соответствии с новыми целями использования. Полноценный Цифровой двойник состоит из двух основных компонентов – цифрового описания и данных реального времени. Цифровое описание, как правило, осуществляется с помощью систем CAD, PLM, ERP, CRM и т.д. Сбор и анализ данных о состоянии объекта в режиме реального времени в концепции Цифрового двойника обеспечивает технология IoT, она также осуществляет интеграцию данных всех информационных систем и возможность управления реальным объектом с помощью операционного интеллекта. Технология AR позволяет отображать необходимые специалистам консолидированные данные в наглядной форме в зависимости от поставленной задачи, например предоставляет возможность удаленного просмотра объекта для мониторинга, представляет нужную информацию непосредственно на объекте для эксплуатации или проведения технического обслуживания. В промышленной отрасли востребованы Цифровые двойники как для производимых изделий, так и для всего предприятия в целом.

Сергей Макеев, СНСЗ. Концепция Цифрового двойника в реализации жизненного цикла изделия (ЖЦИ) обязательно привязана к концепции виртуального рабочего пространства (VRP), в которое должны быть помещены и работать все ИТ-системы (PLM, ERP, MES и т.д.), вовлеченные в этапы ЖЦИ. VRP является контейнером для множества ЦД и новой постоянно действующей надстройкой над физическим пространством, то есть, по сути, создается экосистема, развернутая на средствах глобальной информационной сети на облачных плат-

формах. Технологическими компонентами для VRP являются уже знакомые всем средства виртуализации аппаратного уровня (виртуальные машины) и программного уровня (СУБД и приложения в формате web-сервисов). Мы уже привыкли к тому, что в глобальной сети существует много типов виртуальных пространств, включая игровые, туристические, геоинформационные и т.д., сам человек является известным носителем виртуального ментального пространства со своим ментальным нецифровым двойником изделия. VRP является цифровым, базируется также на глобальной сети, но его специфика в том, что оно сконструировано как экосистема для эволюции промышленных ЦД и подстроено под потребности реализации проектного, производственного и далее эксплуатационного процесса. Для обеспечения полной виртуализации производственного процесса в VRP отображаются не только Цифровые двойники самих изделий, которые рождаются внутри своего проекта, но обязательно присутствуют и разнообразные ЦД заводских средств производства. Это здания, территория, инфраструктура, оборудование, персонал – субъекты производственной деятельности, то есть в VRP должны быть представлены все объекты физического пространства, существенно влияющие на производственный процесс.

Все перечисленные ЦД являются объектами VRP и приобретают свое постоянное представительство в нем, каждый ЦД получает карточку с составом своих атрибутов, соответствующих типу объекта, а также привязанные к карточке ресурсы – документы, модели техпроцессов, сообщения о событиях, мультимедиа-файлы и т.д. Для Цифрового двойника изделия обязательным является создание его 3D-модели как базового объекта, на основе которого происходит документирование созданного проекта. Вокруг структуры этой модели формируется некоторый комплекс материалов РКД, который является источником для разработки технологии подготовки, запуска и мониторинга производства. Надо понимать, что ЦД – это не просто геометрия 3D-модели CAD-системы, как это было раньше, 3D-модель формирует важнейшую центральную структуру состава изделия в БД, к элементам которой привязаны необходимые ресурсы – все средства документирования, понятные специалистам завода, в том числе и традиционные чертежи. Каждая 3D-модель может быть представлена в



Кирилл Пятунин,
ПАО «ОДК-САТУРН»



Дмитрий Солонцов,
компания ПТС



Олег Степанов,
СПКБ



Александр Тучков,
компания «Бюро ЕСГ»

разных форматах, соответственно, для этих форматов предусматриваются возможности легкого визуального отображения геометрии ЦД и его базовых свойств для всех пользователей ВРП. Пользователями ВРП являются люди, ИТ-системы, IIoT-устройства, причем независимо от того, где пользователи находятся и на каком компьютерном устройстве, сервере или станке работают. Поскольку 3D-модель Цифрового двойника является первичным и базовым ресурсом, доступ к ней присутствует везде, где бы ни находились пользователи – в КБ, в цехе, на корабле, можно сказать, что ВРП является модельно-центричной средой реализации ЖЦИ, в отличие от существующих документоцентричных технологий.

– Чем концепция Цифрового двойника принципиально отличается от распространенных технологических подходов, использующих сквозные цифровые решения для всех этапов жизненного цикла изделий и объектов, например на основе PLM, ERP, BIM, которые также позволяют осуществлять отображение и аналитику данных в режиме реального времени и интерактивное управление текущим производством и строительством? Каковы реальные преимущества технологии Цифровых двойников?

Александр Тучков, компания «Бюро ЕСГ».

Технология Цифровых двойников и есть развитие концепций PLM/PDM, BIM, СИИД с учетом современных технологических трендов – облачных технологий, Больших данных, Интернета вещей, 4G-5G мобильного доступа, трехмерного сканирования и т.п.

Петр Манин, компания Autodesk. Совершенно верно, концепция Цифрового двойника – это продолжение перечисленных технологий. Можно сказать, что ЦД вбирает в себя и использует все, что достигнуто ими. Главная цель ЦД – задолго до реального производства проверить, пройдет ли производимое изделие все тесты на соответствие стандартам и требованиям по качеству. Особый упор делается на предиктивную аналитику и имитационное моделирование «что, если?». В особо ответственных применениях выдвигаются повышенные требования к модели на соответствие реальному изделию В

этих случаях необходима не только текущая аналитика, но и проверка в экстремальных условиях.

Адриан Парк, компания Hexagon RRM. На сегодняшний день не достигнуто единого понимания относительно того, что такое Цифровой двойник или что он должен собой представлять, это приводит к путанице. ЦД объединяет информацию о конфигурации физического актива, а также транзакционные данные из ERP- и других систем, информацию с датчиков, поступающую в реальном времени, и использует инструменты визуализации, ИИ и аналитику для представления полезной информации пользователю. Цифровой двойник меняется вместе с производственным объектом – с момента создания первого дизайн-проекта и на всем протяжении процессов постройки, введения в эксплуатацию и выведения из нее. ЦД обеспечивает доступ к исторической информации, чтобы пользователь мог увидеть состояние Цифрового двойника в любой момент в прошлом и сравнить его с текущим состоянием. Он также должен поддерживать функцию параллельного проектирования, позволяющую осуществлять одновременное моделирование нескольких потенциально пересекающихся друг с другом изменений и дальнейшее внесение этих изменений в уже имеющуюся физическую реализацию.

Цифровой двойник является авторитетным и единым источником достоверных данных о промышленном объекте. Он предоставляет данные, аккумулируемые из разных внутренних систем, транзакционных систем, а также систем сбора данных в реальном времени и других. Это повышает эффективность производства и снижает риски благодаря тому, что работа становится более точной, а также уменьшается время на поиск информации, необходимой в повседневных процессах, таких как техническое обслуживание, технический контроль, планирование работ, проектирование и т. д. ЦД, как правило, способен заменить разрозненные хранилища данных об активах и является источником всех данных о конфигурации объекта. Таким образом, его можно синхронизировать с другими системами, такими как системы технического контроля, обслуживания и обеспечения надежности. В сочетании с аналитическими системами, средствами ИИ, системой машинного обучения Цифровой двойник предоставляет ценную информацию на основе 4D/5D-отчетов, ситуационного и прогнозного анализа.

Олег Маковельский, компания ФЦТ. Отличие комплексного Цифрового двойника от подхода, основанного на использовании PLM-, ERP-, BIM-систем, принципиальное – перечисленные системы не работают с полевым уровнем данных, поступающих от устройств. Это бизнес-системы ИТ-контура для учета данных и автоматизации бизнес-процессов, связанных с бизнес-данными. Но на реальном производстве многое зависит от производственного оборудования и от его эксплуатации. Более правильным будет соотнесение Цифрового двойника с контуром операционных технологий (OT) на производстве, использующим классические системы SCADA, MES, EMS для управления технологическими процессами и энергоучета. Цифровые двойники работают на основе данных этих систем и дополняют их расширенной аналитикой, начиная с предсказательной и заканчивая автоматизированной. Цифровые двойники процессов позволяют экономить и высвободить существенные финансовые средства на оптимизации эксплуатации оборудования и превентивном сервисном обслуживании. Это дает возможность промышленному предприятию вкладывать высвободившиеся деньги в модернизацию и инновации в производстве и в создание новой продукции, повышая тем самым свой конкурентный уровень.

Елена Никольская, компания РТС. Концепция Цифрового двойника подразумевает контроль состояния, производительности и поведения объекта на базе данных об условиях и режимах его работы. Такие технологии, как PLM, ERP, BIM, являются неотъемлемой частью Цифровых двойников и отвечают за цифровое определение объектов. Технологии IIoT отвечают за качество и скорость получения реальных данных об объектах в режиме реального времени, консолидацию актуальных данных об объекте из всех информационных систем, обеспечение данных для предикативной аналитики, удаленное управление. Технология AR выступает в качестве вспомогательной и позволяет отображать цифровые данные об объекте, тем самым повышая эффективность, скорость и качество их эксплуатации и сервисного обслуживания. Основное преимущество ЦД – возможность в любой момент времени предоставить специалисту информацию об объекте, необходимую ему для выполнения текущей задачи и отслеживания хода ее выполнения. Это позволяет повысить качество работы подразделений предприятия, которые расширяют свои возможности принимать взвешенные, эффективные управленческие решения, сокращать издержки и привлекать новые потоки доходов.

Иван Некрасов, компания GE Digital. Совершенно справедливо подмечено, что классические программные решения различных классов вполне успешно применяются для решения задач анализа и управления производством. В перечень PLM, ERP, BIM следует обязательно добавить системы класса SCADA и MES, являющиеся информационной и логической основой контура управления технологическим объектом. Основной проблемой при совместном использовании различных систем является их принципиально различное представление объекта управления. Так, например, система уровня

SCADA представляет объект в виде совокупности информационных сигналов, ERP – в виде совокупности ресурсов, необходимых для выполнения задач производства, PLM-решения оперируют электронными документами и бизнес-процессами и т.д. Концепция Цифрового двойника призвана объединить все эти представления в единый программный объект, который является унифицированным поставщиком данных для любой системы. При этом логика обработки информации отдается на усмотрение каждой отдельной системы, что позволяет использовать существующие решения в формате “как есть”.

Дмитрий Пилипенко, компания SAP. Если за объект моделирования и управления принимается производственный актив – единица промышленного оборудования, то концепция Цифрового двойника применима на всем протяжении его жизненного цикла – от стадии проектирования оборудования, что позволяет сразу создавать объекты с заданными техническими характеристиками, до стадии эксплуатации, с целью повышения эффективности, уменьшения количества простоев, предсказания остановов, прогнозирования оптимальных режимов работы и т.д.

Таким образом, можно выделить в качестве основных две сферы применения концепции Цифровых двойников:

- ▶ создание актива, его проектирование и производство, где основной задачей является ускорение создания продукта с требуемыми характеристиками и с определенными ограничивающими условиями (себестоимость, сроки);
- ▶ эксплуатация актива, где основной задачей является повышение эффективности его использования и обслуживания на основе реальных рабочих данных о его работе.

Данный цикл, по существу, является замкнутым: данные об использовании актива направляются производителю оборудования для устранения выявленных недочетов или корректировки свойств изделия в рамках следующего цикла оптимизации или направляются сервисной организации, которая принимает оптимальные решения по обслуживанию и ремонту актива.

Обратная связь между производителем и эксплуатантом позволяет производителю быстрее реагировать на запросы и проблемы, то есть использовать получаемые данные при проектировании новых единиц оборудования, а эксплуатанту она дает возможность получать от производителя максимально точные и оперативные рекомендации, основанные на опыте и анализе данных не только конкретной единицы оборудования, но и данных по использованию аналогичного оборудования других клиентов.

Цифровые двойники обеспечивают оперативное и качественное обслуживание активов, решение проблем с удаленной диагностикой. Нужные ресурсы (сервисные техники, инструменты и запасные части) подбираются более эффективно и могут устранять неисправности в формате “разового визита”, когда за счет удаленной диагностики и наличия исторических данных сразу правильно идентифицируется источник неисправности и подбираются необходимые ресурсы.

ЦД, объединённые между собой, с поставщиками оборудования, ERP-системами и сервисными организациями, помогают создавать новые бизнес-модели, в основе которых – сбор телеметрии с физического объекта. Например, компания Kaeser Kompressor, производитель компрессорного оборудования, помимо классической продажи оборудования предоставляет услуги по новой бизнес-модели “воздух как услуга”, для чего осуществляет дистанционный мониторинг и сбор онлайн-данных, и применяет эти данные как при моделировании и производстве нового оборудования, так и при эксплуатации и обслуживании существующих единиц оборудования.

Кирилл Пятунин, “ОДК-САТУРН”. С точки зрения возможностей по аналитике данных Цифровой двойник является системой более высокого уровня с большим потенциалом самоорганизации.

Игорь Егоров, ОКБ им. А. Льюльки. Как представляется, ключевым отличием Цифрового двойника от указанных технологий является то, что эта концепция предполагает возможность отражения информации об объекте в информационном пространстве с максимально возможной для сегодняшнего уровня развития цифровых технологий детализацией и информативностью. С другой стороны, это определенный уровень формализации технологических циклов единой взаимосвязанной триады компонент: разработки и доводки объекта, его производства и наконец, технологического цикла эксплуатации.

Владимир Жураховский, ГК “ИЛМ Урал”. Современная “волна” Цифровых двойников отличает-

ся более глубоким проникновением цифровых технологий многодисциплинарного моделирования в проектирование (так называемое “проектирование, движимое расчётами”). Применительно к ЦД уровня изделия новые технологии в области численного моделирования позволяют “заглянуть” в труднодоступные места устройства и получить детализированное представление о его ключевых параметрах, что в реальной жизни невозможно. Соответственно, преимущества Цифровых двойников и их отличие от подобных технологий заключаются в том, что, объединяя полученные знания о возможных состояниях устройства с минимальными данными с этапа эксплуатации реального изделия, пользователь имеет исчерпывающую информацию об объекте наблюдения в режиме реального времени. В прикладном смысле Цифровой двойник – это быстродействующая модель, построенная на базе различных техник понижения порядка ROM сложных численных моделей или машинного обучения на базе данных, полученных из наблюдения за реальным устройством или экспериментов с его моделью.

Владимир Макаров, ЦИАМ. Существующие сквозные цифровые решения, использующие в том числе PLM, ERP и BIM, отражают состояние создаваемого или физически существующего объекта “как он есть”, в то время как Цифровой двойник должен ответить на вопрос “что будет если”. Именно возможность предсказывать изменение характеристик объекта и системы, частью которой он является, есть главное преимущество технологий, базирующихся на концепции Цифрового двойника. Обсуждаемое различие цифро-



CAE EXPERT

CAE EXPERT. ИНТЕГРАТОР ТЕХНОЛОГИЙ ANSYS
на территории России и СНГ
Продажа. Внедрение. Обучение

ANSYS TWIN BUILDER
РЕШЕНИЕ ДЛЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА

ANSYS
cae-expert.ru | cae-club.ru | cae-support.ru

вых технологий может исчезнуть, если в понятие “сквозные цифровые решения” включить этот самый Цифровой двойник.

Олег Степанов, СПКБ. Важнейшее преимущество технологии Цифрового двойника состоит в том, что стало возможным оптимизировать конфигурации и компоновку деталей разрабатываемых объектов, в результате чего повышается качество разработки конструкций изделий, снижаются затраты и сроки разработки.

Дмитрий Солонцов, компания ПТС. Сегодня для тех, кто работает на промышленных рынках, Цифровой двойник – мощный помощник в получении бизнес-выгод от раскрытия потенциала таких технологий, как Интернет вещей, облачные вычисления, сенсоры. Совокупное использование всех этих технологий обеспечивает совершенно новый уровень аналитики и представления данных. Теперь виртуальные представления настолько точно передают реальные объекты, что практически неотличимы от оригинала. Развитие и широкое использование информационных технологий на производственных линиях обеспечивает сбор информации о средствах производства и свойствах производимых изделий. Информационные технологии обеспечили автоматизированный сбор данных при помощи датчиков, измерительных машин, лазеров, компьютерного зрения и светового сканирования. Именно современные технологии позволяют реализовать концепцию Цифрового двойника, используя информацию, созданную на всех этапах замкнутого жизненного цикла изделия и обеспечивая сокращение расходов и ускорение инноваций в производстве изделий.

Модель концепции Цифрового двойника состоит из трех ключевых составляющих: физическое изделие в реальном пространстве, представление изделия в виртуальном пространстве, взаимосвязь данных виртуального и физического объектов.

Технологии теперь не только обеспечивают актуальность и точность сбора информации и ее последующую визуализацию, но и предоставляют широкий спектр возможностей по тестированию производительности предприятия. Соответственно, при работе с виртуальной моделью мы имеем дело уже не с фиксированными запланированными данными, а с проверенными статистическими показателями каждого параметра с учетом его тренда.

Цифровой двойник предоставляет три важных инструмента: концептуальный подход, возможность сравнения и возможность совместной работы. В отличие от компьютера, следующего в решении задачи шаг за шагом в точном соответствии с алгоритмом, человек способен взглянуть на процесс в общем и конкретизировать задачу. Таким образом, на первом этапе необходимо определить сферу применения Цифрового двойника и построить процесс разработки изделия согласно конкретным параметрам. Инструмент сравнительного анализа позволяет непрерывно выявлять отклонения полученного результата от запланированного, постоянно корректируя виртуальное представление объекта. Коллективная работа над поставленной задачей дает возможность разносторонне подойти к ее решению и

охватить больше вариаций создаваемой модели, поскольку ЦД предоставляет неограниченный доступ к ней неограниченному количеству людей, которые в виртуальном пространстве могут протестировать бесконечное количество сценариев и смоделировать поведение реальных объектов.

Собирая данные об условиях и способах производства изделий, ЦД позволяет на основе полученных результатов с высокой точностью предсказывать поведение систем и виртуально моделировать процесс производства согласно запланированным технологическим процессам.

В отличие от решений на базе PLM, ERP, BIM концепция Цифрового двойника предоставляет инструменты и методики прогностической аналитики в сочетании с технологией обработки Больших данных. Преимуществами для промышленных предприятий являются сокращение времени простоя оборудования, а также времени на ремонт, повышение качества ремонта, заказ оптимального количества запасных частей по результатам выявления отклонений в работе оборудования.

Сергей Макеев, СНСЗ. Отличие концепции Цифровых двойников от других подходов к информационному представлению изделий и объектов на протяжении их жизненного цикла заключается, во-первых, в фундаментальном способе представления ЦД, во-вторых, в уровне интеграции между ИТ-системами класса PLM, ERP, BIM, в-третьих, в уровне взаимодействия систем.

Представление ЦД. Вопрос имеет свою историю, которая берет начало в традиционных технологиях 19-20 веков, когда проектный процесс базировался на “бумажной технологии”, а двойник проектируемого изделия существовал только в голове конструктора, мы его называли ментальным двойником (МД). Соответственно, средством передачи МД изделия, созданного конструктором, были чертеж и производные от него сопровождающие документы – спецификации, ведомости, техпроцессы, планы. То есть производство было документоцентричным, хотя при таком типе организации производства документы могут быть представлены и в электронном формате и карточки для них легко находятся в своих БД.

В конце 20-го века появились САД-системы, создающие не только чертежи, но и параметрические 3D-модели, здесь 3D-модель изделия, созданная первоначально как МД в воображении конструктора, переносится на 3D-модель САД-системы, на основе которой геометрия формируется на чертежах безошибочно и автоматически. Более того, с помощью САЕ-систем появляется возможность верифицировать модель на предмет соответствия некоторым важным свойствам. Это уже был шаг вперед в производительности труда конструктора, поскольку вся воображаемая геометрия уже передана в модель и документы привязаны к ней, а не к МД, но стандарты производства и оснащение цехов остались документоцентричными, а 3D-модель САД-системы считалась и до сих пор во многих производствах считается просто вспомогательным средством для получения правильного чертежа, так как содержит только геометрию, но не технологические требования к производству.

В начале 21-века все постепенно начало изменяться с появлением концепции ЦД и соответствующих международных стандартов, в них 3D-модель CAD-системы становится центральным объектом в процессе производства, на 3D-модели изделия появляются 3D-аннотации – цифровые требования, размеры, допуски, привязанные прямо к поверхностям и элементам модели. В CAE-системах появляются расчетные модели с солверами мультифизики, теперь созданные модели можно проанализировать на множество важных свойств, например гидродинамику корпуса корабля, совмещенную с расчетом его прочности. В композитном производстве можно промоделировать горячую пропитку тканевых слоев под давлением для построенной модели корпуса корабля и предсказать возможные дефекты после затвердевания смолы. На этом этапе 3D-модель, содержащая только геометрию, наполняется свойствами и элементами документирования, соответственно, только такой объект можно считать Цифровым двойником изделия. Концепция ЦД дополняется тем, что ЦД должен стать публичным объектом, соответственно, в сети на рабочих местах появляются программы-вьюеры, которые могут удобно визуализировать эти аннотированные ЦД на любом устройстве, чертеж становится уже не обязательным, но для этого производство должно быть подготовлено, а именно технолог должен быть оснащен ИТ-системой, работающей с цифровыми прототипами техпроцессов, а цех должен быть оснащен цеховыми

терминалами или мобильными устройствами (планшетами, смартфонами и т.д.) для онлайн-доступа к своим ЦД, техпроцессам, текущим заданиям, представленным в ВРП (виртуальное рабочее пространство). Естественно, переход на технологию ЦД должен внедряться параллельно с сохранением традиционной бумажной технологии, но здесь основным и центральным объектом в процессе производства уже является сам ЦД изделия, производство становится моделицентричным. В этом случае ИТ-системы, создающие техпроцессы и документы для ППП (планирование и подготовка производства), обращаются непосредственно через web-API к структурам карточек ЦД в ВРП, техпроцессы генерируются по своим цифровым прототипам, чертежи постепенно отмирают.

Уровень интеграции ИТ-систем. Хотя уже давно существует понятие единого информационного пространства (ЕИП) и есть какая-то практика, где разные ИТ-системы взаимодействуют через отдельные каналы и объединительные интерфейсы, пользователи ИТ-систем по-прежнему остаются жестко привязанными к своим системам. Они авторизуются в них отдельно, работают в своих системах документооборота или модулях workflow, системы содержат свои объекты в специфичных форматах своих СУБД, создают свои собственные файловые хранилища и т.д. Концепция ВРП в отличие от ЕИП состоит в том, что каждый созданный ЦД изделия отделяется от создавшей его САПР, трансформируется в унифицированный формат и публикует-

PTS

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ

ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ
ЛЮБОГО МАСШТАБА

www.pts-russia.com

+7 (495) 737-78-78

Москва, ул. Крымский Вал,
д.3, с.2, офис 305

CAD/CAM/CAE/PLM/IoT/AR

Авторизованный реселлер
решений PTS в России



ся в ВРП как базовый web-ресурс один раз и навсегда, то есть создается постоянно действующий эталон ЦД для каждого проекта, каждого заводского заказа. ЦД работает на уровне производства, участвует в приемке заказа и сопровождает заказ уже после приемки на длительном этапе эксплуатации. Все конечные пользователи ВРП, имеющие отношение к производственной деятельности завода, проходят единую регистрацию, получают свою роль, логин/пароль для входа и права доступа к ресурсам, подключаются и работают через стандартные браузеры. Все ИТ-системы, поддерживающие ЖЦИ, становятся подсистемами (сервисами) единого ВРП и пристыковываются к ЦД как к единому легитимному источнику ресурсов по каждому проекту изделия и каждому принятому для постройки заказу. В этом случае каждый ЦД приобретает постоянный облачный web-адрес, который не зависит от того, в какой САПР и на какой территории конкретно произошло его рождение, он теперь становится доступным для всех прочих участников реализации ЖЦ именно этого изделия, доступным в любое время суток, где бы они ни находились и на какой бы платформе ни работали.

Уровень взаимодействия между ИТ-системами. Все ИТ-системы объединяются и трансформируются в сервисы ВРП. Они могут работать в своих приложениях и интерфейсах, но при этом:

- ▶ в ВРП действует единая схема авторизации и прав доступа пользователей к контенту ВРП, каждый пользователь видит только то, что ему позволено;
- ▶ все системы объединяет единый источник ресурсов, содержащий в актуальном состоянии все принятые к производству ЦД;
- ▶ ВРП обеспечивает единый унифицированный формат представления ЦД для всех заинтересованных пользователей, доступ к геометрии всех 3D-моделей обеспечивается вьюерами и функциями API, здесь эффективно работают такие нейтральные форматы, как STEP, JT, STL, DXF;
- ▶ геометрия ЦД, представленная в нейтральных форматах, может удобно визуализировать реальное состояние постройки корабля за счет применения цветовой раскраски частей и деталей по мере их движения от подачи на стапель к статусу полной готовности;
- ▶ для пользователей действуют единые механизмы подписки на изменения контента ВРП. Все подключаются к единой системе оповещения о событиях по состоянию всех ЦД;
- ▶ все события и действия по отношению к ЦД протоколируются в ВРП, создается единая история, которая будет сохранена уже навсегда и может быть ценным материалом для аналитики и случаев, требующих расследования.

– Если ставить целью создание “полномасштабного” Цифрового двойника действующего предприятия, как правильно выстроить стратегию достижения этой цели? Какие последовательные этапы либо параллельные направления преобразований

она должна включать в себя? Потребуется ли при этом изменение существующей на предприятии модели управления производством?

Александр Тучков, компания “Бюро ЕСГ”.

Ну и кто это сейчас знает? Эксперименты с созданием и эксплуатацией Цифровых двойников идут сейчас в самых разных отраслях, и “правильность” той или иной стратегии покажет только время. А вот ответ на последний вопрос – однозначное ДА: сегодняшняя модель управления производством будет выброшена на помойку.

Олег Маковельский, компания ФЦТ.

Безусловно, внедрение любой новой технологии подразумевает изменения. А освоение технологий Индустрии 4.0 предполагает изменения на всех уровнях, включая, конечно же, и структурные. В промышленных компаниях во всем мире существуют подразделения разработки и инжиниринга (DevOps), где инженеры, программисты и производственники работают единым коллективом для достижения инновационных целей. Для изменения модели управления производством потребуется также изменение существующей нормативной базы и системы менеджмента качества предприятия, так как некоторые процессы становятся все более или полностью автоматизированными. Такие концепции, как M2M, уже сейчас внедряются на тех производствах, где для этого созданы соответствующие условия. При этом функция оператора оборудования все более переходит в разряд наблюдательной, а руководители производства разных уровней получают все больше аналитических данных для принятия более грамотных управленческих решений.

Иван Некрасов, компания GE Digital.

“Полномасштабное” Цифрового двойника – понятие довольно относительно и определяется прежде всего решаемыми задачами управления. По мере их усложнения происходит расширение требований к собираемым данным и усложнение применяемых методов их обработки. По логике вещей, стратегия внедрения Цифрового двойника должна аналогичным образом предусматривать движение от простого к сложному. Здесь нет никакой радикально новой или особенной идеи, поэтому классическая трехэтапная схема **сбор данных-анализ-управление** вполне применима. Очевидно, что без надежного фундамента в виде системы автоматизации и сбора данных ни о какой цифровизации речи быть не может. Что касается изменения модели управления производством, то внедрение новых технологий всегда вносит в нее некоторые изменения, а степень модификации зависит от исходного уровня предприятия. С точки зрения принятых на предприятии бизнес-процессов следует руководствоваться принципом “система для предприятия, а не предприятие для системы”. Идеальным сценарием внедрения Цифрового двойника я считаю такую перестройку существующей схемы сбора и хранения данных, которая никак не отражается на принятых бизнес-процессах управления предприятием, а лишь делает их более прозрачными, контролируемыми и понятными пользователю.

Олег Степанов, СПКБ. Создание “полномасштабного” Цифрового двойника – очень амбициозная задача

для такой отрасли, как судостроение. В этом процессе должно принимать активное участие государство, начиная с таких задач, как закрепление терминологии в нормативных документах, и заканчивая легализацией решений на основе Цифрового двойника и сертификацией программного обеспечения. В свою очередь это приведет к полномасштабному пересмотру всех бизнес-процессов, а не только моделей управления на предприятиях промышленности.

Елена Никольская, компания РТС. В первую очередь необходимо определить цели, которые предприятие планирует достигнуть с помощью технологии Цифрового двойника. Далее провести анализ текущего состояния предприятия и уровня информатизации. На основе результатов исследования составляется дорожная карта, определяющая порядок работ. Часть работ, таких как обучение персонала, дооснащение оборудованием для получения необходимых данных, может проводиться параллельно с процессом развития информационных систем. Суть подхода состоит в том, чтобы, ориентируясь на стратегию проекта в целом, фокусироваться на решении отдельных небольших задач с последующим наращиванием возможностей и масштабированием их на все предприятие. Цифровой двойник производственного предприятия в первую очередь помогает проанализировать работу производства, выявить факторы, влияющие на производительность как предприятия в целом, так и производственных подразделений, линий, оборудования. Данная информация помогает увидеть узкие места и принять взвешенные решения для совершенствования процессов. Такой подход позволяет не только предсказывать поведение системы, но и предоставлять рекомендации для упреждающих действий. Таким образом, Цифровой двойник является мощным инструментом для обеспечения гибкости управления предприятием, позволяя адаптировать производственные процессы к меняющимся условиям и требованиям, а также давая возможность часть управления переводить в автоматизированный режим.

Дмитрий Солонцов, компания ПТС. Компания ПТС на основе методик РТС продвигает стратегию Digital Transformation, которая описывает следующие шаги при переходе к цифровому предприятию для типового производства:

Шаг 1. Анализ предприятия на предмет выявления целей и достигаемых преимуществ и формирования стратегий цифровой трансформации.

Шаг 2. Анализ на основе методики Industrie 4.0 Maturity Index производственных процессов предприятия, IT-инфраструктуры и технического оснащения на предмет соответствия выбранной стратегии.

Шаг 3. Определение архитектуры решения, разработка дорожной карты и плана цифровой трансформации на основании сформированной стратегии.

Шаг 4. Модернизация процессов управления, IT-инфраструктуры и оснащения.

Шаг 5. Аprobация решения.

Шаг 6. Оптимизация решения.

Шаг 7. Масштабирование решения.

Петр Манин, компания Autodesk. В Цифровом двойнике предприятия соединяются вместе технологии, необходимые для производства изделий, о чем говорилось уже, и, собственно, модель самого предприятия. Иногда мы называем ее моделью уровня цеха. Вообще говоря, в ее основе как раз лежит BIM-модель: при наличии архитектурной части, технологической начинки, внутренних сетей и других систем становится возможным моделировать и оптимизировать процессы и потоки (занятость) людей на производстве. Выбор модели управления – параллельный процесс, однако, как показывает практика в России и в мире, эта модель тоже меняется вместе с изменением процессов и культуры работы людей в парадигме Индустрии 4.0.

Сергей Макеев, СНСЗ. Предприятие должно прежде всего создать инфраструктуру виртуального рабочего пространства, ввести регламент приемки и стандарт унифицированного представления ЦД от ПКБ. Это потребует определенных усилий, для каждого ПКБ придется создать отдельный канал приемки, чтобы на выходе в ВРП сформировался ЦД, не содержащий каких-то особенностей оригинальных CAD-систем. Далее необходимо рабочие места и мобильные устройства всех пользователей обеспечить 3D-вьюерами (многие из них бесплатные), существующие на предприятии ИТ-системы привязать к ресурсам ВРП и подписать их на обновления контента. Понадобится также работа по программированию, но затраты здесь не существенные.

На предприятии должна быть реформирована технологическая служба: технологи должны научиться создавать пооперационные техпроцессы на каждую часть ЦД – от корпусных конструкций и помещений до трубопроводов, отдельных труб, кабельной инфраструктуры и вплоть до конкретных деталей. На уровне цеха также необходимо провести мероприятия, связанные с внедрением цифровой инфраструктуры на цеховых участках, местах постройки и в складских подразделениях. Здесь потребуется закупить и внедрить определенную технику для работы с цифровыми моделями и ресурсами. Необходимо также создать 3D-модели важнейших средств производства и ввести их в ВРП. Придется провести оцифровку всех мест хранения объектов производства и тех средств производства, которые представлены в ВРП.

Далее, когда все вышеперечисленное будет сделано, можно переходить к обучению персонала, запускать в работу цеховые терминалы и начинать выдавать задания бригадам. На этом этапе Цифровой двойник начинает полноценно функционировать – уже не требуется бумажных документов, все привязано к ЦД, на его основе формируются электронные техпроцессы, производится планирование и запуск заданий в пооперационное и поддетальное производство по созданным техпроцессам и моделям ЦД.

Все это требует от предприятия существенных инвестиций, но надо понимать, что без внедрения системы генерации техпроцессов, планирования на основе пооперационных техпроцессов, выдачи пооперационных заданий производству и ввода в действие цифровой инфраструктуры цеха создание ЦД обесценивается.

Адриан Парк, компания Hexagon PPM. Обычно действующие активы имеют возраст 10 лет и более, они редко содержат структурированную информацию высокого качества. К счастью, появились технологии, способные извлекать информацию из существующих документов, двумерных чертежей CAD, электронных таблиц и устаревших баз данных. Информацию можно извлечь, проверить, объединить и на основе этих данных создать Цифровой двойник базового уровня. Если 3D-модели отсутствуют или они устарели, можно провести лазерное сканирование. Компания Hexagon PPM работает над проектом с использованием ИИ и машинного обучения, цель которого — автоматизировать процесс идентификации оборудования во время лазерного сканирования, чтобы объединять полученные модели с двумерными и одномерными данными. После этого можно объединять основные данные о параметрах объекта и документацию с данными о техническом обслуживании, техническом контроле и данными, полученными в реальном времени. Чтобы Цифровой двойник работал максимально эффективно, необходимо изменить существующие рабочие процессы и модели, на что, конечно, может потребоваться время.

Владимир Макаров, ЦИАМ. Принципиальное значение при принятии решения об использовании Цифрового двойника имеет то, какова бизнес-модель предприятия. Если, например, компания, разрабатывающая и производящая авиационные двигатели, получает основную прибыль от “поставки” эксплуатантам авиационной техники ресурса двигателей, то использование Цифровых двойников двигателей для минимизации затрат на ТОиР парка этих двигателей представляется целесообразным. Если же прибыль формируется поставкой только запасных частей двигателей, то любое технологическое усложнение этого бизнес-процесса может оказаться вредным.

Игорь Егоров, ОКБ им. А. Люльки. Решение этой задачи подразумевает проведение комплекса мероприятий на конкретном предприятии, разрабатывающем конкретный объект. На основе опыта внедрения данной концепции в ОКБ им. А. Люльки можно назвать базовые из них:

1) разработка специальной программы обучения, которая должна обеспечить достижение соответствующего уровня в среде разработчиков, необходимого для освоения ими появившихся новых вычислительных технологий. В ОКБ им. А. Люльки такое обучение проводится на регулярной основе с приглашением высококвалифицированных специалистов в различных областях знаний;

2) организация плотного взаимодействия с базовыми вузами, которые готовят специалистов в этой области, а также с ЦИАМ и Академией наук, где проводится сопровождение или собственная разработка вычислительного инструментария. Кроме того, весьма полезным может оказаться взаимодействие со специалистами из других областей. В качестве примера можно привести весьма плодотворное сотрудничество ЦИАМ с компанией СИНЦ, где собраны специалисты из другой отрасли, но имеющие очень высокий уровень квалификации в вычислительных технологиях, отсутствие же соответствующей

практики в двигателестроении компенсируется в процессе тесного взаимодействия обеих организаций на этапе физической постановки задачи.

В перспективе мы ставим себе более амбициозные задачи — это, во-первых, формализация технологического цикла разработки и доводки двигателя на основе цифровых технологий и использования Искусственного интеллекта, во-вторых, — разработка и внедрение оптимального сценарного управления проектом в реальном масштабе времени с учетом оптимального управления НИОКР и адаптивного формирования банка альтернативных технических решений на этапе разработки и доводки двигателя следующего поколения. По данной тематике мы плотно работаем с МАИ, и отдельные элементы этой концепции уже внедрены и используются в ежедневной деятельности ОКБ. В качестве третьего магистрального направления движения мы видим внедрение так называемой Робастной технологии, которая учитывает точность вычислительного инструментария разработки и доводки проекта двигателя следующего поколения, точность производства и точность экспериментального анализа опытного образца.

Эти технологии также в какой-то мере уже используются в ОКБ им. А. Люльки при разработке современных двигателей для маневренной авиации. Например, при формировании облика двигателя пятого поколения для самолета Су-57 мы использовали, во-первых, концепцию системного анализа, в свете которой двигатель рассматривается как элемент системы более высокого уровня — в данном случае маневренного самолета и его составных элементов. Во-вторых, была применена технология многокритериальной многомерной оптимизации IOSO. В-третьих, моделирование двигателя осуществлялось в русле концепции иерархичности моделирования объекта. И наконец, в-четвертых, при определении оптимального облика двигателя были использованы вероятностные критерии реализации проектных решений, которые позволяют учитывать риски невыполнения требований ТЗ.

— Требуется ли реализация концепции Цифровых двойников некоего определенного уровня развития информационной инфраструктуры и наличия у предприятия соответствующих ресурсных возможностей?

Иван Некрасов, компания GE Digital. Однозначный ответ “да”. Необходима прежде всего развитая IT-инфраструктура на уровне оборудования (вычислительные мощности, сетевые подключения, датчики сбора информации) и зрелая система автоматизации (сервера сбора и хранения онлайн- и исторических данных, системы оцифровки бизнес-процессов, выстроенная модель данных предприятия). При недостаточном уровне развития указанных компонентов крайне важно сначала дооснастить предприятие, подготовив его к внедрению Цифрового двойника.

Александр Тучков, компания “Бюро ЕСГ”. Для построения Цифрового двойника, конечно, требуются вполне определенные информационные ресурсы. Одно только внедрение Промышленного Интернета вещей автоматически ведет к необходимости обработ-

ки Больших данных, что невозможно без наличия соответствующих вычислительных мощностей. Но какое промышленное предприятие к этому сегодня готово? Трехмерное лазерное сканирование промышленных и строительных объектов в целях модернизации и контроля строительства также требует увеличения мощности компьютеров, серверов и носителей информации в разы. Однако ни одно крупное промышленное предприятие не готово на сегодняшний день использовать облачные технологии за пределами своего периметра. А ведь именно на них построено большинство западных решений цифровизации.

Олег Маковельский, компания ФЦТ. Как правило, Цифровые двойники базируются на существующей ИТ/ОТ-инфраструктуре предприятия, но иногда ее ресурсов может и не хватить для их реализации, это зависит от конкретного случая. Существует оценка Индекса цифровой зрелости предприятия, в соответствии с которой и определяется готовность и уровень развития предприятия для внедрения технологий Индустрии 4.0, к которым относятся концепты Цифровых двойников.

Петр Манин, компания Autodesk. Если мы хотим, чтобы Цифровой двойник “жил” вместе с реальными процессами на производстве, то он должен представлять собой “цифровую тень”. Цифровая тень способна предсказать поведение реального объекта в тех условиях, в которых когда-то велся или ведется сбор данных. Это крайне востребовано для целей эксплуатации, прогнозирования ремонтов и планирования/оптимизации затрат на них, что актуально почти для всех. Для всего этого необходимы очень высокие требования к аппаратной части. Если компания не может позволить себе требуемые мощности, их можно арендовать в облаке или использовать мощности интеграторов (аутсорсинг).

Владимир Жураховский, ГК “ПЛИМ Урал”. Ресурсы, необходимые для построения Цифровых двойников изделий, можно разделить на три основных класса: аппаратная часть (вычислительные кластеры, серверы, коммуникация и другие средства для оперативного процесса реализации), программная часть (уже упоминавшиеся CAD/CAM/CAE/PLM/PDM-системы) и – самое главное – компетенции разработчиков изделия (закрепленные на уровне стандартов предприятий). Чтобы воплощать концепцию Цифровых двойников, которая является частью новой парадигмы проектирования, до неё нужно “вырасти”.

Кирилл Пятунин, “ОДК-САТУРН”. В первую очередь необходимы центры обработки Больших данных и системы хранения соответствующих объемов информации. Также требуется соответствующая пропускная способность корпоративной сети. Что касается программной части, необходима общая цифровая платформа, на базе которой будут интегрированы модели оборудования и будет производиться предиктивный анализ.

Олег Степанов, СПКБ. Безусловно, реализация концепции Цифровых двойников потребует увеличения мощности всего парка вычислительных машин пред-

приятый, но без обученного персонала всё это останется, скорее всего, невостребованным.

Владимир Макаров, ЦИАМ. Совершенно верно, помимо наличия соответствующей инфраструктуры люди – руководители, ИТ-специалисты, инженерный состав должны не только грамотно обеспечивать реализацию традиционных сквозных цифровых технологий на стадиях разработки изделий и их производства, но и быть способными обеспечить эффективную разработку, верификацию и валидацию новых программных, системных и организационных решений в рамках новых специализированных структур. Это должно происходить при содействии поставщиков базовых решений аналогично тому, как это имеет место при развертывании PLM- и ERP-систем на предприятии.

Адриан Парк, компания Hexagon PPM. Поскольку Цифровой двойник доступен с использованием облачных технологий и посредством web-клиента, то жесткой необходимости в установке клиентского ПО по месту нет, что снижает требования к программному и аппаратному обеспечению. Поддержка API-интерфейсов RESTful обеспечивает простоту взаимодействия с другими корпоративными решениями в ИТ-среде. Для обеспечения взаимодействия с другими корпоративными системами может потребоваться установка корпоративных сервисных шин, если это еще не было сделано.

Дмитрий Солонцов, компания ПТС. Необходимые условия для создания Цифрового двойника физического актива – наличие вычислительных мощностей для генерации данных и доступа к локальным, облачным и периферийным серверам для возможности дальнейшей обработки и хранения данных, а также надежное Интернет-подключение для передачи этих данных, например сотовая сеть LTE для географически распределенных активов или частная глобальная сеть с низким энергопотреблением (LPWAN). Любая форма подключения к Интернету требует также разумных систем безопасности, обеспечивающих адекватную защиту устройств в сети, периметра сети, данных и сервера.

Также должно быть доступно цифровое определение актива со всей системой исторических записей, которое может включать модели САПР, интеграцию с управлением жизненным циклом изделия (PLM), данные от подключенных датчиков, получаемые в режиме реального времени.

На основании такого цифрового определения предприятия регулируют сложность и точность Цифровых двойников, интегрируя их с платформой IIoT и прогнозной аналитикой, ERP- и MES-системами, дополненной реальностью, Искусственным интеллектом, аддитивным производством и многими другими технологиями. Чем больше технологий используется при создании Цифровых двойников, тем более полными проводниками цифровых данных они становятся.

Платформа Промышленного Интернета вещей требуется для подключения, контекстуализации и взаимодействия с разрозненными физическими активами. Не менее важна интеграция бизнес-систем в масштабах предприятия на организационном (ERP) и

производственном (MES) уровнях. Данные становятся доступными для сотрудников через человеко-машинный интерфейс (ЧМИ), диспетчерские компьютеры и информационные панели.

Технологии дополненной реальности обеспечивают новые формы взаимодействия цифрового представления и физического актива. Облачные приложения и имитационные модели IIoT дополнительно прогнозируют результаты работы оборудования в режиме реального времени на базе архивных и текущих данных о производительности, используя платформу IIoT в качестве основы для дальнейшего развития Цифрового двойника.

Цифровой двойник стратегически объединяет все эти технологии, позволяя достичь максимальных выгод для бизнеса.

– Цифровой двойник строится и функционирует на основе данных из самых разных источников, поэтому очевидно, требуется некое интеграционное ПО для сведения их в общую цифровую модель и интегрирования в едином решении всех систем, задействованных в работе Цифровых двойников. Такая платформа может быть разработана только индивидуально, под специфику конкретного предприятия или на рынке существуют решения, которые могут взять на себя эту роль? Можно ли будет использовать в дальнейшем такую интеграционную платформу с целью объединения Цифровых двойников отдельных производственных активов предприятия в единый целостный образ для построения виртуального двойника всего производства?

Петр Манин, компания Autodesk. Действительно для функционирования ЦД требуются возможности разнородного ПО. Сейчас на рынке не существует универсальных платформ, способных объединить воедино все системы, поэтому заказчик либо использует файловые структуры работы с информацией, либо ему необходимо планировать разработку своей датацентричной платформы, которая объединит возможности по обработке и представлению информации. Компания Autodesk предлагает платформу Forge как основу для построения такой клиентской системы.

Существующие технологии позволяют задуматься о создании единой интегрированной среды для реализации концепции “Цифровой двойник предприятия”. И в компании Autodesk мы уже подобрались к третьему уровню ЦД – уровню всего производства. Для его создания необходимо оптимизировать логистику, транспортные потоки, управление активами, а также осуществить глубокую интеграцию со всеми корпоративными системами предприятия – ERP, MES и сложными имитационными системами. Однако на практике компаний, которые вплотную подошли к освоению Цифровых двойников такого уровня, единицы.

Олег Маковельский, компания ФЦТ. Такой технологией в рамках Индустрии 4.0 является Промышлен-

ный Интернет вещей. В современном программном обеспечении уже упрочился новый класс – IIoT-платформа, которая выполняет две ключевые интеграционные функции – взаимодействие с промышленным оборудованием и агрегирование его полевых данных, а также интеграцию с существующими информационными и операционными системами через шаблонизированные коннекторы и унифицированные протоколы обмена данными. Таким образом, назначение платформы Промышленного Интернета вещей – быть интеграционным центром в ИТ/ОТ-контуре предприятия.

Александр Тучков, компания “Бюро ЕСГ”. Существуют отраслевые коммерческие решения, на основе которых можно начинать строить модель Цифрового двойника объекта или изделия. Для промышленных предприятий это, несомненно, решения компании Hexagon PPM (SmartPlant Foundation и все продукты на базе этой платформы, в частности HxGN SDX), в машиностроении и приборостроении я бы рекомендовал обратить внимание на решения белорусской компании ИНТЕРМЕХ (программный комплекс IPS Search).

Что касается возможности использовать существующие решения для построения единого виртуального двойника производства, то это на данный момент неперспективно, так как такие платформы очень слабо взаимодействуют с Цифровыми двойникам выпускаемых предприятием изделий.

Елена Никольская, компания РТС. Компания РТС предлагает на рынке индустриальную платформу Интернета вещей – ThingWorx, позволяющую реализовывать концепцию Цифрового двойника. Платформа ThingWorx разработана с соблюдением следующих основных для концепции Цифрового двойника требований: возможность использования облачных технологий, а также создания собственного локального облака предприятия; возможность подключения к оборудованию, информационным системам и базам данных с использованием готовых коннекторов, а также возможность разработки собственных; поддержка различных протоколов обмена данными; управление правами доступа и защита данных; визуальные инструменты конструирования приложений с применением унифицированных виджетов; возможность разработки собственных компонентов пользовательского интерфейса; наличие готовых коробочных решений для производственного департамента, предоставляющих данные специалистам в контексте выполняемой задачи; наличие средств машинного обучения и предписывающей аналитики; средств удаленного управления и визуального построения бизнес-процессов. Отдельно хочу обратить внимание на компонент платформы ThingWorx – Thing Flow, который представляет собой визуальный инструмент для управления потоками данных между различными информационными системами. Таким образом, применение платформы позволяет предприятиям консолидировать данные в единый Цифровой двойник и формировать необходимые представления данных индивидуально для каждого специалиста. В дополнение, платформа ThingWorx полностью интегрирована с платформой дополненной реальности Vuforia, что дает возможность визуализировать цифровые данные в реальном простран-

стве относительно объекта, что существенно повышает ценность Цифрового двойника за счет повышения скорости и качества работы ряда подразделений. Основной подход к разработке Цифрового двойника с помощью платформы – создание иерархических шаблонов объектов, что с одной стороны унифицирует Цифровые двойники, с другой – оставляет возможность учитывать специфику каждого объекта.

Кирилл Пятунин, “ОДК-САТУРН”. Есть как коммерческие решения на рынке, так и примеры специально разработанных систем. Следует иметь в виду, что выбор такой платформы – решение стратегическое, и нужно понимать, как она будет интегрироваться с другими производственными системами и бизнес-процессами.

Сергей Макеев, СНСЗ. Естественно, унификация представления ЦД на предприятии потребует определенных усилий по программированию, когда создается новый канал для приемки проектов нового ПКБ, в котором применяется новая САД-система. Но это разовые затраты, далее этот индивидуальный канал приемки РКД действует уже постоянно. В результате завод всегда работает с разными ЦД в едином унифицированном формате.

Владимир Макаров, ЦИАМ. Принципиально Цифровые двойники, предназначенные для сопровождения различных стадий жизненного цикла конкретного объекта (или класса объектов), могут быть реализованы на основе существующих информационных и конструкторских систем, а также систем инженерного анализа и оптимизации. В качестве примеров таких

реализаций для сложных технических систем можно привести платформу Twin Builder компании ANSYS, многоагентную модель работы и технического обслуживания турбин АТОМ (Agent-based Turbine Operations & Maintenance model) компании Siemens, систему Predix компании General Electric. Однако, как можно предположить на основании отрывочной информации об этих продуктах, для достаточно сложных объектов эти системы могут оказаться практически “неподъемными” и тем самым бесполезными и даже вредными (с учетом вложенных ресурсов). Следует отметить, что информационное “цунами” в открытых публикациях по теме Цифровых двойников при одновременной закрытости сведений о реальных достижениях и проблемах в этой области затрудняют детальные прогнозы развития обсуждаемой технологии. Очевидно одно, что для устойчивого развития технологии Цифровых двойников нужен осознанный, обоснованный и реализуемый на современном технологическом уровне запрос промышленности на такого рода системы, которые, в свою очередь, должны опираться на доступные для анализа позитивные примеры их реализации и использования (success stories).

Адриан Парк, компания Hexagon PPM. Облачное решение Hexagon PPM SDx для создания Цифровых двойников предоставляет готовые интерфейсы для облегчения интеграции с SAP, OSI/PI и MS SharePoint. Другие интерфейсы, в том числе для IBM Maximo, находятся в процессе разработки. SDx также имеет RESTful API-сервисы, которые позволяют при необходимости создавать интерфейсы для других систем.

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ И УЧАСТИИ:

Министерство промышленности, связи, цифрового и научно-технического развития Омской области
Администрация города Омска
Межрегиональная ассоциация «Сибирское соглашение»
Омская ТПП
НП «Сибирское машиностроение»
Союз машиностроителей России

24 - 27 МАРТА 2020 Г.
ОМСК

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР
ОМСК-ЭКСПО
ВЫСТАВОЧНАЯ КОМПАНИЯ

СИБИРСКИЙ ПРОМЫШЛЕННО-ИННОВАЦИОННЫЙ ФОРУМ

ПРОМТЕХЭКСПО

В экспозиции форума:

- АВТОМАТИЗАЦИЯ. ЭЛЕКТРОНИКА. ИЗМЕРЕНИЯ
- СВЯЗЬ
- IT-ТЕХНОЛОГИИ
- ОМСКГАЗНЕФТЕХИМ
- МАШИНОСТРОЕНИЕ. МЕТАЛООБРАБОТКА. СВАРКА
- ЭНЕРГОСИБ. СИБМАШТЭК · ИНЭКСПО

Тел/факс: +7 (3812) 22-04-59 23-23-30; 22-01-59
МВЦ «ИНТЕРСИБ» ВК «ОМСК-ЭКСПО» E-mail: expo@intersib.ru www.intersib.ru

Мы планируем внедрить служебную шину Hexagon Xalt Enterprise Service Bus, чтобы облегчить совместное использование систем, включая сторонние устройства и датчики, и обмен данными между ними. В перспективе ее можно будет использовать для обмена информацией между отдельными Цифровыми двойниками.

Система чтения и обработки документов, чертежей и моделей используется для извлечения из них труднодоступной информации. Кроме того, доступны системы чтения и обработки баз данных и система интеграции с результатами лазерного 3D-сканирования (облака точек). Помимо собственных форматов Intergraph/Hexagon поддерживается множество других форматов исходных данных. После сбора, структурирования и очистки информации ею также можно управлять с помощью SDx. Таким образом, решение позволяет управлять полным жизненным циклом активов, включая внесение изменений и проектную деятельность.

Дмитрий Солонцов, компания ПТС. В стратегии PTC Digital Transformation такой платформой является ThingWorx. ThingWorx включает средства разработки и набор готовых компонентов, что позволяет адаптировать решения, разработанные на данной платформе, под специфику и требования конкретного предприятия. Решение ThingWorx Flow имеет в своем составе адаптеры ко всем современным информационным платформам и приложениям PLM, ERP, MES, CRM и позволяет создавать межсистемные процессы с передачей данных на основе Rest, OSLC и других web-стандартов.

В портфеле программного инструментария PTC есть также платформа для разработки приложений дополненной реальности Vuforia, которая имеет интерфейсы со всеми современными системами САПР.

Андрей Никольский, компания ПТС. Подход, принятый в компании ПТС, в качестве одного из вариантов цифровой трансформации как раз предусматривает “очаговое” применение технологии Цифрового двойника производства (первоначально в рамках участка, максимум цеха) с указанием технологических возможностей на следующем этапе объединения “очагов” в единую “цифровую нить” – основу построения Цифрового двойника всего предприятия.

Игорь Егоров, ОКБ им. А. Люльки. Поскольку Цифровой двойник действительно создается на основе данных из самых разных источников, в нем присутствуют как общие компоненты, так и индивидуальные, даже применительно к одной области машиностроения. К примеру, в двигателестроении отдельные ОКБ имеют свою направленность, так, “ОДК-Климов” в основном специализируется на вертолетных двигателях, “ОДК-Авиадвигатель” – на двигателях для гражданской авиации, ОКБ им. А. Люльки – для маневренной авиации. В каждом из этих направлений, соответственно, имеется своя специфика. Например, аппаратам, предназначенным для маневренной авиации, присуща многорежимность, что заставляет создавать двигатель с учетом целого множества различных значений скорости и высоты полета на разных режимах работы двигателя. В этом случае полностью отсутствует понятие так называемого расчетного режима работы двигателя. Для двигателей

гражданской авиации определяющими критериями для определения эффективности изделия являются два основных режима работы – режимы взлетного и крейсерского полета. Эти обстоятельства накладывают некоторую специфику на формирование облика двигателя, имеющего различное функциональное назначение, что в целом обуславливает различные требования и к Цифровому двойнику, казалось бы, одного и того же объекта – газотурбинного двигателя.

Владимир Жураховский, ГК “ПЛМ Урал”. В качестве генеральной платформы для создания Цифровых двойников изделий может выступать ANSYS как продукт, обеспечивающий высокий уровень взаимной интеграции с привлечением решений, осуществляющих передачу и трансформацию сигналов с реального объекта эксплуатации. Построенные и верифицированные функциональные модели могут распространяться, но в рамках создания схожих изделий. Глобального единого решения на данный момент не существует, что связано в первую очередь с большим разнообразием классов устройств, вследствие чего наиболее подходящее средство интеграции для каждого конкретного случая всегда будет индивидуально.

Иван Некрасов, компания GE Digital. Согласно международному стандарту, определяющему архитектуру решений в парадигме Индустрии 4.0, интеграционный информационный слой является ключевым. Однако документ не предписывает использование конкретных технологий для обеспечения интеграции, то есть подразумевается, что для этой задачи можно использовать как единую платформу, так и специфические (так называемые кастомные) модули обмена информацией между системами. Идея построения монолитной платформы сбора и хранения данных, безусловно, имеет право на существование, но это лишь технологическая подложка для решения прикладных задач. Текущая ситуация, когда различные прикладные задачи решаются различными приложениями, скорее, диктует архитектуру интеграции на базе специфических модулей по принципу “от точки к точке” либо по принципу магазина, когда информация конкретного приложения доступна по запросу, сформулированному определенным образом (по аналогии с API программных модулей). На мой взгляд, унифицированных предложений подобного рода на рынке в данный момент не существует, несмотря на громкие маркетинговые лозунги. Всегда можно найти специфический программный модуль или оборудование, которые будут интегрироваться в платформу только через написание дополнительных сервисов и существенную доработку. Призывы разработчиков отказаться от подобных “устаревших” модулей несостоятельны и лишь свидетельствуют о недостижимости полной унификации в рамках одной платформы. На этом фоне крайне важна оснащенность платформ мощными средствами доработки и расширения (скриптовые языки, SDK, API, возможность подключать сторонние библиотеки и сервисы, и т.п.).

Елена Васильева

Продолжение следует



Санкт-Петербург
Park Inn Прибалтийская

16+



XVII МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНГРЕСС ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ. XXI ВЕК

АРХИТЕКТУРА. ИНЖЕНЕРИЯ. ЦИФРОВИЗАЦИЯ. ЭКОЛОГИЯ

21 НОЯБРЯ
2019



Энерго
Эффективность
XXI век

ОРГАНИЗАТОРЫ



КОНСОРЦИУМ
ЛОГИКА ТЕПЛО ЭНЕРГО **МОНТАЖ**
EX PROFESSIONE - CO ZNANIH I DZIA



ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПАРТНЕР

Строительный
ЕЖЕНЕДЕЛЬНИК

РЕГИСТРАЦИЯ НА КОНГРЕСС

<http://www.energoeffekt21.ru>