

## СОЗДАЕМ ЦИФРОВОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ ВМЕСТЕ

**В.О. Федоров (Компания OSIsoft), М.В. Самойлов (National Instruments),  
И.В. Гиркин (Компания Cisco), А.В. Шолохов (Компания PTC)**

Указаны четыре фактора, оказывающие влияние на развитие рынка Industrial Internet of Things. Представлены решения от компаний National Instruments, Cisco, OSIsoft и PTC, предназначенные для создания инфраструктуры цифрового предприятия. Приведен пример совместного решения компаний – системы мониторинга водяных насосов.

Ключевые слова: Industrial Internet of Things, сбор данных, аналитика, мониторинг, диагностика, туманные вычисления, дополненная реальность.

### Причины активного развития Industrial Internet of Things (IIoT)?

Сегодня на рынке промышленной автоматизации присутствуют различные платформы, позволяющие создавать инфраструктуру современного цифрового предприятия, используя при этом технологию Industrial Internet of Things.

Выделим ряд факторов, оказавших влияние на развитие этой технологии.

1. Во-первых, датчики сегодня дешевеют и уменьшаются в размерах практически на глазах. Раньше для организации сбора данных с полевого оборудования требовалось внедрение SCADA-системы. Стоимость такой системы составляла десятки тысяч долл. США. Сегодня в ряде приложений можно использовать дешевый датчик, организовать до него безопасный зашифрованный канал по нелицензированному радиоканалу, и успешно собирать данные.

2. Во-вторых, падают цены на вычислительные мощности, средства и системы хранения информации.

3. В-третьих, появляются все новые возможности для обработки и анализа данных. Следует отметить, что это является следствием из предыдущего фактора, поскольку большинство алгоритмов было доступно еще 30 лет назад. Просто не было соответствующей инфраструктуры, не было достаточных вычислительных мощностей для их эффективного использования. Не было накоплено значительного объема данных для эффективного использования этих алгоритмов. Сейчас же все это есть, и все эти алгоритмы доступны.

4. В-четвертых, растет доступность средств связи, развиваются коммуникационные протоколы. К 2020 г. в России планируется в нескольких городах внедрить сеть 5G, которая позволит за 5 секунд скачать фильм HD качества. Кроме того, покрытие мобильной связи растет ежегодно, при этом стоимость за ее использование снижается.

### Информационная инфраструктура PI System компании OSIsoft

ПО PI System компании OSIsoft — это информационная инфраструктура, обеспечивающая:

1) сбор данных в реальном времени с различных производственных объектов (системы управления, датчики, лабораторное оборудование, ручной ввод и пр.);

2) обработку и анализ данных: хранение данных на сервере, применение встроенных инструментов расчета, бизнес-правил для помещения данных в контекст, поиск и систематизация данных и т. д.;

3) представление и визуализацию производственных данных

На рис. 1 представлена общая стандартная схема движения данных в рамках цифрового предприятия. В нижней ее части показаны производственные активы, это источники данных. Далее идет коммуникационный уровень, обеспечивающий передачу данных на уровень компетенции PI System, которая собирает данные с источников и помещает их в инфраструктуру событий и данных реального времени. Эти данные хранятся в PI System, могут извлекаться для создания информационной модели предприятия, передаются в аналитические приложения, в средства создания отчетов и т. д.

Таким образом, PI System отвечает только за центральный уровень — за информационную инфраструктуру предприятия. Верхние и нижние уровни занима-



Рис. 1. Схема движения информации в рамках цифрового предприятия

ют партнеры компании. В данном случае это National Instruments, Cisco и PTC. Рассмотрим подробнее продукты, которые представляют эти компании от уровня источников данных до уровня аналитики в пределах цифрового предприятия.

### National Instruments: сбор данных и интеллектуальный мониторинг

Компания National Instruments занимает самый нижний уровень в иерархии рис. 1. Она обеспечивает сбор реальных данных из физического мира. Объемы этих данных очень значительны. Мы живем в удивительное время, когда число устройств, которые принимают, собирают, обрабатывают и визуализируют эти данные, растет в геометрической прогрессии. В настоящий момент существует огромный перечень устройств, которые работают в парадигме Internet of Things. И принято называть это явление четвертой промышленной революцией. Данные устройства должны быть, во-первых, многофункциональными, то есть, как и современный смартфон, они должны сочетать множество разных приборов, которые еще 10 лет назад существовали в отдельных форм-факторах. Устройства Internet of Things должны быть комплексными, осуществлять множество разнотипных измерений, и субпроизводительными, чтобы позволять обрабатывать результаты этих измерений в режиме реального времени и передавать их на сервисы бизнес-аналитики. Компания National Instruments создает именно такие устройства — это модульные контроллеры для сбора данных и управления, которые позволяют осуществлять сбор информации с различных типов датчиков.

Промышленный контроллер автоматизации NI CompactRIO представляет собой многофункциональную встраиваемую систему сбора данных и управления, разработанную для задач, требующих высокой производительности и надежности измерительных и управляющих систем.

Контроллер обладает следующими характеристиками:

- 8 слотов для установки модулей высотой 1U;
- ПЛИС Xilinx Kintex-7;
- Поддержка режима обмена данными по каналам DMA;
- Центральный процессор 1,33 ГГц Dual Core Intel Atom Processor E3825;
- ОЗУ 1 ГБ DDR3;
- ПЗУ 4 ГБ (твердотельная память);
- Наличие двух портов Gigabit Ethernet, порта RS-232, порта RS-485; двух портов USB HI-Speed;
- Дублированный вход питания =9...30 В;
- ОС реального времени Linux;

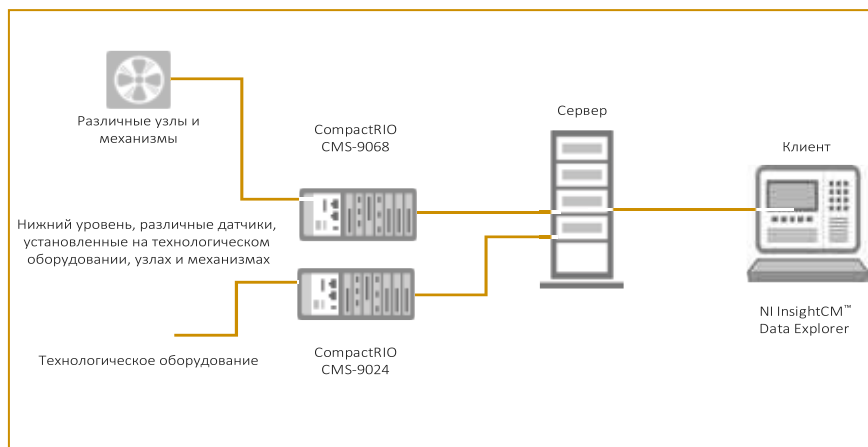


Рис. 2. Структурная схема системы мониторинга и диагностики состояния технологического оборудования на базе оборудования и ПО NI

- Рабочая температура —  $-40...70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- Допустимые удары — до 30 g полусинус 11 мс, до 50 g полусинус 3 мс;
- Масса  $\leq 2250\text{ г}$ .

Линейка контроллеров автоматизации cRIO оснащена программируемыми логическими интегральными схемами, которые позволяют реализовывать на них приложения, работающие в режиме жесткого реального времени со скоростью обработки до нескольких наносекунд.

Аппаратные платформы компании National Instruments являются модульными, что является значительным преимуществом. Оно состоит в том, что благодаря этой модульности заказчики, не меняя единого форм-фактора своей системы, могут достаточно легко его модернизировать. Например, специалисту необходимо добавить число каналов ввода/вывода или интегрировать новые типы измерения платформы. Все это делается по принципу plug and play: в аппаратную платформу National Instruments интегрируется новый модуль, внедряется новый тип измерения или расширяется диапазон измерительных каналов. В распоряжении специалиста более 100 модулей для сбора данных с различных типов датчиков: это могут быть тензодатчики, температурные датчики, вибрационные, токовые и т.д.

В активе National Instruments присутствуют также различные программные продукты. Например, для решения задачи мониторинга и диагностики состояния технологического оборудования применяется ПО NI InsightCM — это ПТК, обеспечивающий сбор и обработку данных с датчиков в режиме реального времени, выдачу предупреждающих сигналов, визуализацию данных и управление массивами данных (рис. 2). Пакет Insight CM [1] применяется для мониторинга состояния ответственных частей различного оборудования, обеспечивает его оптимальное использование, повышает надежность и уровень безопасности, а также уменьшает эксплуатационные расходы.

Система Insight CM осуществляет:

- измерение эксплуатационных характеристик агрегатов (относительная вибрация «ОВ», абсолют-

ная вибрация «АВ», фазовый отметчик (обороты) и т. д.);

— непрерывный контроль параметров вибрации агрегата с выработкой сигналов аварийной и предупредительной сигнализации (реле «сухой контакт») при выходе параметров за допустимые пределы в систему ПАЗ (по согласованию с заказчиком);

— передачу текущих значений по различным типам протоколов (OPC UA, OPC DA, Modbus) в АСУТП;

— контроль состояния электроприводов, основанный на оценке электрических параметров (сигнатурного анализа для трех фазной сети переменного тока асинхронных электродвигателей, выявления электрических и механических неисправностей электродвигателей, контроль пускового тока во время запуска двигателя и сравнение этих параметров с предыдущими запусками).

Специальная библиотека разработчика Insight CM SDK предоставляет возможность заказчику (компании интегратору) системы вносить изменения и добавлять специализированные функции для работы с различным типом оборудования.

#### Cisco: «туманные» вычисления

Компания Cisco — мировой лидер в области сетевых технологий, меняющих способы человеческого общения, связи и совместной работы. Ее деятельность сосредоточена на таких направлениях, как магистральная маршрутизация, коммутация и услуги, решения для совместной работы, виртуализация центров обработки данных и облачные вычисления, архитектура для трансформации бизнеса и т. д. Особое направление в портфолио Cisco — это решения уровня Internet of Things. Несколько лет назад число устройств, подключенных к глобальной сети, превысило численность населения Земли, и по сути дела Internet of Things перестал быть «хайпом».

Например, современный болид Формулы-1 содержит в среднем 150...200 датчиков, которые генерируют тысячи единиц данных каждую секунду: за один круг «набегает» около 6 Мб данных, а за несколько дней, пока идут соревнования, накапливается около 30 Гб данных. Но каким образом обрабатывать такой массив информации, особенно с учетом того, что по правилам гонок на территории могут находиться не более 60 человек от команды? В результате болид Ф-1 — это не просто автомобиль, а генератор данных, которые обрабатываются как локально на самом автомобиле и на автодроме, так и удаленно. И большинство аналитиков, принимающих, в том числе критические, решения, порой находятся на другом конце света. В зависимости от удаленности места проведения гонок от завода задержки при передаче информации могут варьироваться в диапазоне 7...300 мс. Недаром Кристиан Хорнер, руководитель команды Infiniti Red Bull Racing, заявил: «Сеть будет играть решающую роль в том, как мы будем развивать болид; сбор данных, их анализ и адаптация, несомненно, определяют наш сезон».

Формула-1 — самый доступный и наглядный пример. Но можно назвать и другие примеры генерирования данных в мире:

- 46 млн. умных счетчиков в США генерируют ~ 0,5 ТВ данных каждый день;

- упаковочный робот — до 13 млн. записей каждый день;

- буровая платформа — до 0,75ТВ данных в неделю;

- АСУТП НПЗ — до 1ТВ данных каждый день;

- один пассажирский авиалайнер производит до 10 ТВ данных за каждые 30 мин полета, а в мире каждый день совершается более 25 тыс. полетов.

Таким образом, в мире генерируется 2 эксабайт (10<sup>18</sup>) данных каждый день! Каким образом обработать такой массив данных?

Подход компании Cisco заключается в синергии двух принципов: облачной и распределенной обработки данных. Обработка информации в облаке, при явных преимуществах в виде неограниченных вычислительных ресурсов и ресурсов хранения, в случае Internet of Things все же имеет существенные недостатки: удаленность источников данных от облака и ограниченная пропускная способность каналов связи вызывают задержки при передаче информации и потери пакетов. Таким образом, облачная обработка подходит для случаев, когда клиент-человек может не заметить несколько дополнительных миллисекунд задержки или может повторить запрос.

Но в Internet of Things скорость и надежность передачи информации становятся критичными, потому что клиентом является устройство, причем зачастую устройство с автономным электропитанием, с ограниченными вычислительными ресурсами. И важно разработать для такого устройства программное обеспечение, предлагающее только минимальный набор жизненно необходимых функций. Возможно, у такого устройства просто не хватит ресурсов, чтобы запрограммировать функцию повторной отправки данных в облако или поддержания соединения с сервером с длительным тайм-аутом.

Кроме того, не стоит забывать про безопасность: есть ли у устройства ресурсы для шифрования данных, проведения аутентификации при подключении, ведения журнала событий? Также нужно брать в расчет то, что используемое устройство может быть устаревшим и не приспособленным для работы в современных сетях передачи информации. А ведь такие устройства тоже нужно использовать.

Поэтому в модели передачи данных появляется новый слой, называемый туманными вычислениями (другие термины — распределенные вычисления, fog computing, edge computing), отвечающий за первоначальную обработку данных как можно ближе к источнику их возникновения (рис. 3).

Предложенный подход обеспечивает распределенную обработку информации и распределенный анализ информации в зависимости от требуемой ско-



Рис.3. Сравнение традиционной модели передачи данных и модели для IoT

рости реакции на события и релеванности событий для функционирования системы в целом.

Основными типовыми примерами применения подобной архитектуры являются:

- подключение унаследованного оборудования, не имеющего возможности «общаться» на основе технологий IP;
- подключение нескольких систем, для которых требуется аналитика, связанная с корреляцией событий, поступающих от них, с минимальными периодами задержки в передаче и обработке информации;
- подключение оборудования, для которого требуется аналитика, связанная с фильтрацией поступающих сигналов;
- обеспечение полнофункциональной безопасности для систем и отдельного оборудования;
- в виде параллельной системы сбора и обработки информации в дополнение к уже существующей, если та не способна обеспечить требуемую функциональность (например, повысить дискретность предоставления информации), или есть опасения нарушить ее работоспособность во время модифицирования.

Компания Cisco предлагает широкий спектр оборудования для так называемых узлов туманных вычислений (рис. 4) и программное обеспечение по управлению такими узлами и прикладным программным обеспечением, устанавливаемом на них.

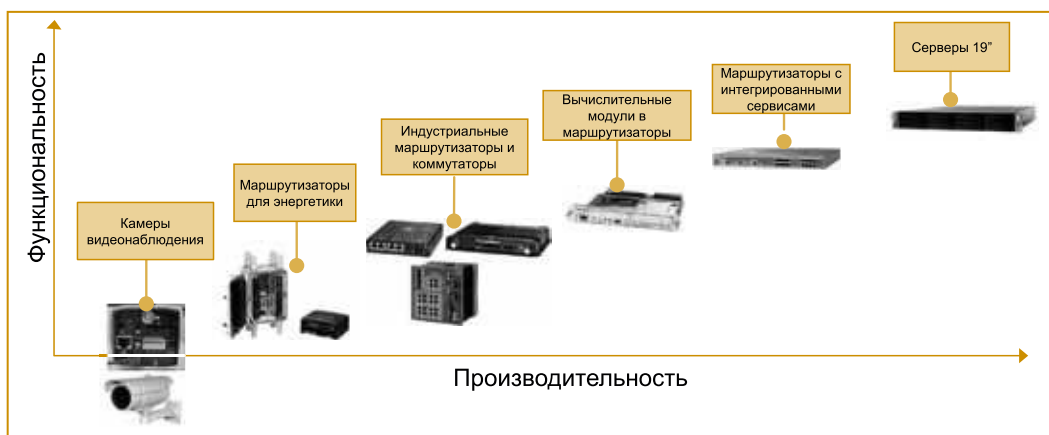


Рис. 4. Спектр оборудования для узлов туманных вычислений

Ярким примером прикладного программного обеспечения, устанавливаемого на узел туманных вычислений Cisco, является программный компонент компании OSIssoft — PI Connector [2]. Это новый узел сбора данных, позволяющий осуществить не только сбор технологических данных, но также интуитивное сканирование с использованием определенного протокола, в результате которого автоматически конфигурируются теги и формируется объектная модель в PI Asset Framework.

Рассмотрим схему интеграции программных продуктов компаний OSIssoft и Cisco (рис. 5).

Теги в PI System представляют собой активы предприятия. Как правило, компании в первую очередь собирают информацию с наиболее ценных активов, критически важных для бизнеса. Однако в конце концов предприятие сталкивается с тремя проблемами:

1. Каким образом подключить менее важные для бизнеса активы, особенно мобильные?
2. Как обеспечить надлежащий уровень безопасности при сборе информации с активов?

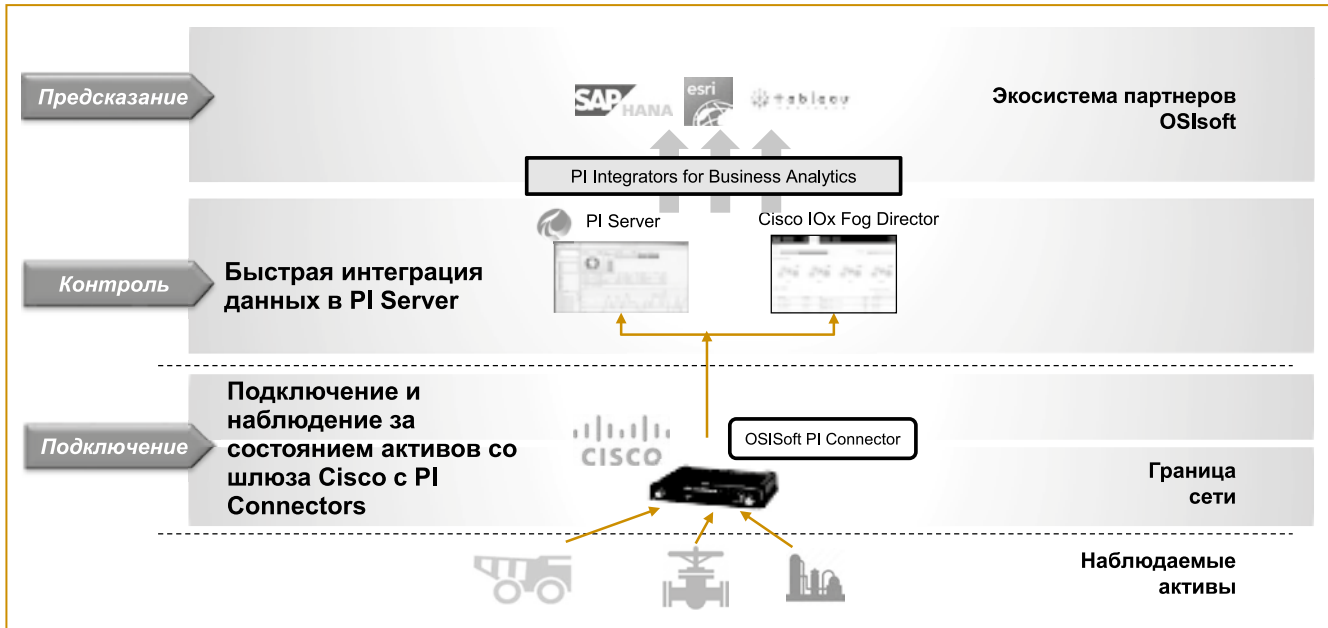


Рис.5. Пример интеграции решений компаний Cisco и OSIsoft

3. Как увеличить частоту сбора информации для повышения эффективности процессов?

Благодаря использованию промышленных маршрутизаторов Cisco, сетевых устройств, с работающим внутри них PI Connector, решаются указанные и другие вопросы. PI Connector привносит аналитику на границу сети, обеспечивая не только сбор данных, но и предварительную обработку и фильтрацию данных. Например, некий параметр может не меняться с течением времени или может изменяться линейно. В этом случае промежуточные значения параметра не передаются на PI Server, и он способен восстановить их на основе функции поведения. С другой стороны, оператор системы может установить пороговые значения для параметров, и узел туманных вычислений будет передавать информацию на сервер только при выходе параметра за уставки.

На предприятии могут быть тысячи окончечных устройств, требующих сотен или даже тысяч узлов туманных вычислений. Неизбежно возникает вопрос управления ими, и здесь на помощь приходит ПО Cisco IOx Fog Director, которое позволяет следить за жизненным циклом приложений, находящихся на сетевых устройствах.

#### Пример использования продуктов компаний Cisco и OSIsoft

Рассмотрим два примера использования такой архитектуры. Первый пример связан с сетью трубопроводов в Канаде, где на контрольных пунктах телемеханики использовались промышленные сетевые устройства Cisco для сбора и обработки информации. Указанные устройства сертифицированы для использования в жестких условиях эксплуатации с высокими отрицательными и положительными температурами, защищены от попадания пыли и влаги. В некоторых моделях есть источник бесперебойного

питания, встроенный в корпус сетевого устройства, который работает в таких же условиях эксплуатации. В случае проблем с электропитанием подобный ИБП способен в течение нескольких часов обеспечить работу сетевого устройства, а следовательно, сбор и передачу технологической информации. С PI Connector информация передается на PI Server, работающий в ЦОДе на серверах Cisco UCS.

Второй пример связан со сбором информации с мобильных активов — грузовиков Caterpillar. Золотодобывающая компания Barrick установила мобильные маршрутизаторы Cisco на грузовики. У данного сетевого устройства есть возможность выхода через сеть Wi-Fi, через сеть 4G/3G, и компания «видит», где находится грузовик, своевременно получает информацию с грузовика и обрабатывает ее буквально на месте возникновения. Используя не очень высокоскоростные каналы, данные всегда надлежащим, безопасным и надежным образом передаются в центр обработки данных. Пример характерен тем, что сетевое устройство защищено от воздействия вибрации, содержит гироскоп и акселерометр, что обеспечивает аналитику поведения водителя, его добросовестного отношения к активу. Подключение маршрутизатора к CAN-шине грузовика позволяет также собирать информацию о «здоровье» автомобиля: показатели расхода топлива и давления в шинах, параметры работы двигателя и т. д.

#### PTC: аналитика и дополненная реальность

В апреле 2017 г. на Ганноверской промышленной выставке-ярмарке Hannover Messe и конференции академия наук Acatech (Германия) представила индекс зрелости предприятия в условиях Industry 4.0. Как известно, ранее Acatech ввела понятие Industry 4.0, сформулировала, каких результатов предприятие может достичь, и по какому пути должно двигаться.

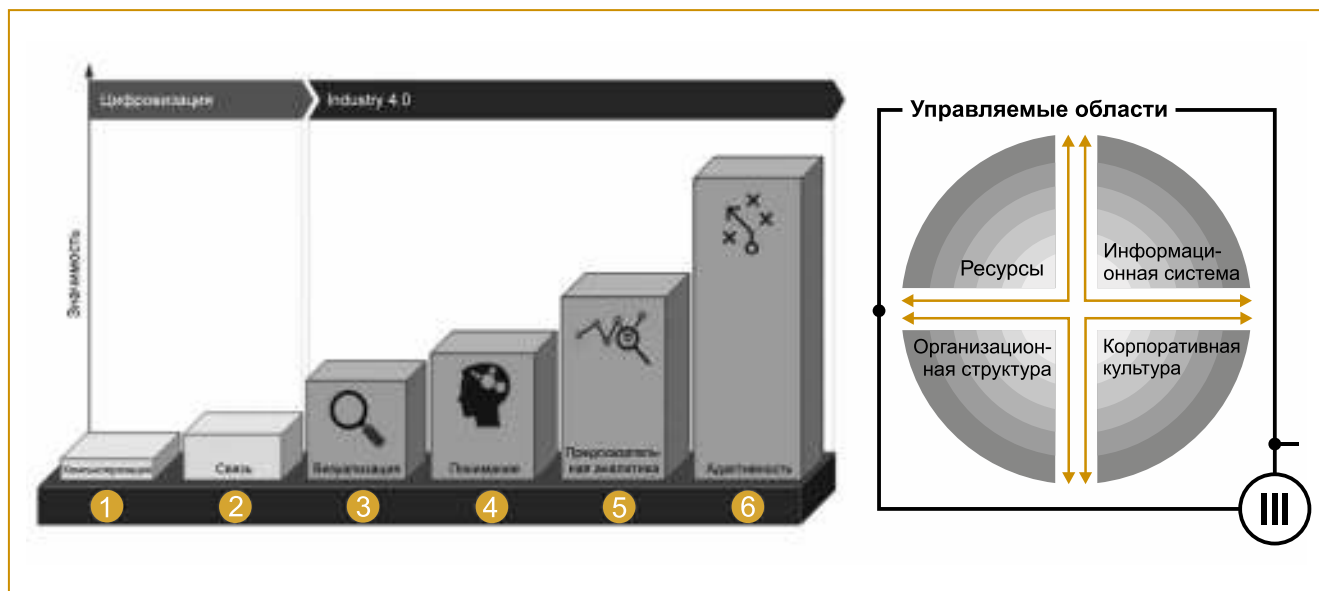


Рис. 6. Индекс зрелости предприятия в условиях Industry 4.0

На рис. 6 изображены шесть уровней зрелости предприятия. Первые два уровня — это компьютеризация и связь. Третий уровень — это полное представление о всех процессах, которые протекают на предприятии. Четвертый уровень — это понимание того, что происходит и почему это происходит. Пятый уровень — это предсказательная аналитика, предсказание того, что будет дальше с системой. Шестой, самый высокий уровень — адаптивность, способность предприятия автоматически отреагировать на различные предсказания. Причем первые два уровня зрелости Acatech относит к Industry 3.0, а уже 4...6 уровни зрелости — к Industry 4.0.

Академия Acatech разделяет индекс зрелости на четыре части, исходя из того, что нужно управлять ресурсами как материальными, так и нематериальными, кроме того, нужно управлять ИТ-системами, структурой организации и ее корпоративной культурой.

Компания PTC работает над двумя элементами — ресурсами и ИТ-системами.

Рассмотрим встроенные возможности аналитики, которую называют предсказательной. У PTC имеется инструмент *ThingWorx ThingWatcher*, соответствующий третьему уровню зрелости, согласно классификации Acatech. *ThingWatcher* наблюдает и «учится» у вещей в реальном времени. Использует технологию машинного обучения для определения в реальном времени, что является нормальным состоянием любого потока данных. Правильно работающую систему можно «показать» *ThingWorx*, которая запомнит штатные параметры. Если по каким-то причинам система начнет работать в нештатном порядке, *ThingWorx* об этом просигнализирует. Работа инструмента не зависит от предустановленных правил, не использует никакие предустановленные правила для анализа. Учится исключительно при наблюдении за вещью с помощью искусственного интеллекта.

На четвертом уровне расположена система *Coldlight*, позволяющая по историческим данным строить ана-

литические модели. Системе задается некий фокусный параметр, и она сама выявит закономерности, по которым могут изменяться значения этого параметра.

*ThingWorx ThingPredictor* — это та самая предсказательная аналитика, то есть уровень пять. Инструмент автоматически строит и проверяет предиктивные модели без участия человека, основываясь только на потоках данных, связывает «вещи» с одним или несколькими ожидаемыми состояниями (время до отказа, будущая эффективность и др.). Использует предсказательные модели, созданные *ThingWorx Analytics Server* или другим PMML-совместимым инструментом.

*ThingPredictor* говорит буквально следующее: «Сложилась такие условия, которые с достаточной вероятностью в прошлом приводили к неким последствиям». Это и называется предсказательной аналитикой по историческим данным, если не меняются прочие равные условия.

Следующий инструмент — *ThingWorx ThingOptimizer*, уровень 5.5. Этот инструмент оценивает достигаемый результат перед тем, как специалист предпринимает действия. Определяет причинные и ключевые факторы, влияющие на заданный результат, минимизирует риск определенных действий, используя предсказательные модели, созданные *ThingWorx Analytics Server* или другим PMML-совместимым инструментом.

### Виртуальная реальность

Остановимся на теме дополненной и виртуальной реальности. Возвращаясь к уровням зрелости, это третий и четвертый уровни. Если при просмотре футбольного матча параллельно на экране будут транслироваться имена футболистов, тренеров — это уровень три. От этой информации сам матч не зависит, это дополнительная информация. Но если разбирать на экране, как можно было бы тот или иной фрагмент игры сделать лучше, то это уже использование дополнительной информации и ответ на вопрос, почему



Рис.7. Алгоритм работы продуктов ThingWorx Studio и ThingWorx View



Рис.8. Архитектура системы мониторинга водяных насосов

игра или игровой эпизод сложились соответствующим образом.

Платформа ThingWorx включает продукты ThingWorx Studio и ThingWorx View, позволяющие использовать все знания, накопленные в CAD-системах на предприятии. В частности, эти продукты используются для реализации технической поддержки и ремонтов оборудования. То есть система показывает, как заменить ту или иную деталь.

Рассмотрим алгоритм использования этих решений. Первоначально некая накопленная информация в CAD-системах загружается в облако, после чего информация будет доступна из любого места. Далее, пользователь может с помощью специального AR/VR оборудования либо с помощью своих планшетов, телефонов, на которые он предварительно скачивает приложение (общедоступное на Android, Windows Mobile, iOS), использовать эту информа-

цию, например, в ходе ремонта оборудования (рис. 7).

#### Заключение

В заключение рассмотрим практический пример совместного применения технологий уровня Industry 4.0 от компаний NI, OSIsoft и PTC.

Компания Flowserve — производитель насосов, клапанов и уплотнений с 200-летней историей оснащает свои изделия современным измерительным оборудованием (сенсорами, датчиками и т. д.), информация от которого позволяет предоставлять клиентам дополнительные услуги с целью обеспечения надежности и сервиса. Платформа компании Flowserve Technology Advantage обеспечивает возможность послепродажного обслуживания клиентов. Применение технологий NI, OSIsoft и PTC позволило квалифицированным инженерам Flowserve удаленно получать и анализировать данные об оборудовании, установленном на объектах клиентов, в режиме реального времени. На рис. 8 представлена общая архитектура

решения.

Нижний уровень — это сбор данных с насоса Flowserve, таких как температура, давление, вибрация, мощность, расход и т. д. Этот этап реализуется аппаратными контроллерами CompactRIO и обрабатывается средой LabVIEW. Далее, данные поступают в облачный сервис и в PI System от компании OSIsoft. После этого в действие вступают системы дополненной реальности от компании PTC, и также задействована система мониторинга состояния InsightCM.

#### Список литературы

1. *Артемов Н.Е.* Система мониторинга и диагностики состояния динамического и статического оборудования//Автоматизация в промышленности. 2017. № 10.
2. *Трунов И.С.* Цифровая трансформация с технологиями OSIsoft//Автоматизация в промышленности. 2017. № 7.

*Федоров Вадим Олегович — архитектор решений, OSIsoft,  
Самойлов Максим Владимирович — руководитель проектов National Instruments,  
Гуркин Игорь Васильевич — менеджер по развитию бизнеса Cisco,  
Шолохов Андрей Владиславович — генеральный директор PTC Россия.  
E-mail: vfedorov@osisoft.com*

#### Оформить подписку на журнал "Автоматизация в промышленности" вы можете:

- **в России** — в любом почтовом отделении по каталогу "Газеты, Журналы" агентства "Роспечать" (подписной индекс **81874**) или по каталогу "Пресса России" (подписной индекс **39206**).
- **в странах СНГ и дальнего зарубежья** — через редакцию ([www.avtprom.ru](http://www.avtprom.ru)).

**Все желающие**, вне зависимости от места расположения, могут оформить подписку, начиная с любого номера, прислав заявку в редакцию или оформив анкету на сайте [www.avtprom.ru](http://www.avtprom.ru)  
В редакции также имеются экземпляры журналов за прошлые годы.