



Индустрия 4.0 и КОГНИТИВНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Архитектурные шаблоны, сценарии использования и решения IBM

Серж Бонно (Serge Bonnaud)
и Кристоф Дидье (Christophe Didier)

28 сентября 2018 г.

Содержание

Предисловие	6
Индустрия 4.0 и когнитивное производство	10
1. Концепция IIoT-платформы	11
1.1 Разнообразие производственных мощностей.....	11
1.2 Схема производственных мощностей.....	11
1.3 Должностные лица и основные проблемы.....	12
1.4 Существующая архитектура производства.....	14
1.5 Внедрение Интернета вещей в производственный процесс посредством серии логических шагов по получению ценности.....	16
1.6 Расширение нынешней производственной архитектуры с помощью трехуровневого подхода.....	17
1.6.1 Полная расширенная трехуровневая архитектура.....	18
1.6.2 Дополнительные предложения и рекомендации относительно структурных элементов.....	20
2. Edge Analytics	23
3. Связующее программное обеспечение уровня Shop Floor: Plant service bus	27
3.1 Иллюстрация на уровне Factory: Сценарий использования акустического анализа.....	31
3.2 Иллюстрация на уровне Edge: Сценарий использования визуального инспектирования.....	32
3.3 Иллюстрация на уровне Shop Floor: Сценарий использования приложения Heart Beat Manufacturing.....	33
3.4 Иллюстрация на уровне Enterprise: Сценарий использования, связанный с улучшением показателя OEE.....	34
4. Кибербезопасность ИТ/ОТ	37
4.1 Кибербезопасность ОТ-инфраструктуры.....	37
5. Модель развертывания	38
6. Как мы это делаем	39
6.1 Быстрое начало с помощью методик Design Thinking и Garage Method.....	39
6.2 Создание опытного образца или первого MVP-продукта (Minimum Viable Product – минимально жизнеспособный продукт).....	39
6.3 Проектирование перспективного плана: Проектный подход к развертыванию...	41
6.4 Исследования и инновации: Ориентированное на пользователя проектирование и DevOps Factory.....	42
6.5 IBM Architecture Center.....	43
7. Пример внедрения:	
Преобразование уровня Shop Floor в гипотетической компании	44
7.1 Представление сценариев использования.....	46
7.2 Сценарий использования 1: Дополненный продукт.....	47
7.3 Сценарий использования 2: Дополненное оборудование.....	48
7.4 Сценарий использования 3: Дополненный оператор.....	49
7.5 Другие рассматриваемые сценарии использования.....	50
Заключение	50

Рисунки

Рисунок 1.	Четвертая промышленная революция.....	10
Рисунок 2.	Схема производственной системы.....	12
Рисунок 3.	Упрощенная структура производства, применяющего такие средства, как MES, PLC и SCADA.....	14
Рисунок 4.	Дорожная карта применения подхода четырех шагов.....	16
Рисунок 5.	«Расширенная» фабрика – Edge, Plant Service Bus и IIoT-платформа... ..	17
Рисунок 6.	Цифровая производственная архитектура с промышленными приложениями IBM.....	20
Рисунок 7.	Определение OEE: Производительность *Качество *Готовность.....	22
Рисунок 8.	Партнерские отношения IBM в сфере Edge Analytics и Edge Computing ..	23
Рисунок 9.	Решение Edge Analytics.....	23
Рисунок 10.	Hilscher и IBM взаимодействуют на уровне Edge.....	24
Рисунок 11.	SmartFactoryKL: Обзор.....	25
Рисунок 12.	Карта партнеров по проекту SmartFactoryKL – Industrie 4.0.....	26
Рисунок 13.	Инструментальная панель SmartFactoryKL.....	26
Рисунок 14.	Логика правил производства, развернутая на уровне PSB.....	27
Рисунок 15.	Обзор архитектуры PSB.....	28
Рисунок 16.	Manufacturing Integration Service Bus – Эталонное развертывание.....	28
Рисунок 17.	Демонстрационный стенд SmartFactoryKL.....	29
Рисунок 18.	Проект SmartFactoryKL: Уровень интеграции, поддерживаемый шиной PSB.....	29
Рисунок 19.	Watson IoT for Manufacturing: Охват и функции.....	30
Рисунок 20.	Watson IoT for Manufacturing: Возможности.....	31
Рисунок 21.	Диагностика автомобильного двигателя по акустической информации... ..	32
Рисунок 22.	Визуальное инспектирование дверной ручки при сборке кузова автомобиля при участии KUKA и IBM.....	32
Рисунок 23.	Приложение Connected Manufacturing Heartbeat.....	34
Рисунок 24.	OEE: Польза для нескольких категорий персонала.....	35
Рисунок 25.	OEE: Задействованные должностные лица.....	35
Рисунок 26.	OEE: Инструментальная панель типичного решения.....	35
Рисунок 27.	Концепция SIEM применительно к IT/OT.....	37
Рисунок 28.	Инструмент SIEM QRadar for IT/OT.....	38
Рисунок 29.	Услуги и активы Garage Method.....	39
Рисунок 30.	Методика MVP Method – Обзор.....	40
Рисунок 31.	Промышленный проектный подход.....	41
Рисунок 32.	Объединение групп Joint Garage Team и Joint DevOps Factory Team... ..	42
Рисунок 33.	Объединение групп Joint Garage Team и Joint DevOps Factory Team... ..	42
Рисунок 34.	Архитектурный шаблон Industrie 4.0.....	43
Рисунок 35.	Пространство Design Thinking.....	44
Рисунок 36.	Типовая архитектура Индустрии 4.0.....	46
Рисунок 37.	Сценарий использования 1: Дополненный продукт.....	47
Рисунок 38.	Сценарий использования 2: Дополненное оборудование.....	48
Рисунок 39.	Сценарий использования 3: Дополненный оператор.....	49

Сокращения

MES	Manufacturing Execution System
IoT	Internet Of Things
IIoT	Industrial Internet Of Things
PLC	Programmable Logic Controller
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
PSB	Plant Service Bus
ESB	Enterprise Service Bus
OEE	Overall Equipment Efficiency
ML	Machine Learning
IT/OT	Information Technology/Operational Technology
KPI	Key Process Indicator
MVP	Minimum Viable Product
PoC	Proof Of Concept
AI	Artificial Intelligence
DL	Deep Learning
PPA	Plant Performance Analytics

Информация об авторах



Серж Бонно (Serge Bonnaud)

Технический руководитель, Производственный сектор
Член совета технических экспертов (IBM France)

Серж Бонно (Serge Bonnaud) с 1998 года занимается разработкой программного обеспечения и системным проектированием. Он также сотрудничал с сектором здравоохранения, в частности, участвовал в разработке систем для анализа медицинских данных и средств для автоматизации деятельности фармацевтических предприятий.

Он работал в компаниях Verilog, CSEE, Rational Software и Thomson Software Products, а в 2004 году перешел в IBM. С. Бонно в качестве архитектора принимал участие в различных проектах в сфере Интернета вещей (IoT), в которых использовались такие технологии, как Большие данные и Аналитика.

Он также занимался развертыванием IBM Watson IoT for Automotive, решения IBM для транспортных средств с выходом в интернет. С 2016 года С. Бонно занимает пост технического руководителя в производственном секторе (IBM Europe).

LinkedIn: www.linkedin.com/in/serge-bonnaud-97b1527

Twitter: @serge_bonnaud



Кристоф Дидье (Christophe Didier)

Главный архитектор и ассоциированный партнер,
Технический директор по направлению IoT (IBM France)
Член совета технических экспертов (IBM France)

Последние 20 лет К. Дидье работал в сложных интеграционных проектах на следующих должностях: специалист, технический руководитель проекта, архитектор и специалист по предметной области.

В 2013 году он был назначен на должность главного архитектора, а в настоящее время он занимает должность технического директора по следующим направлениям: IoT (Интернет вещей), мобильные технологии и разумные города (IBM France).

Он 14 лет проработал в подразделении IBM Global Business Consulting, где занимался анализом (преимущественно в таких областях, как EAI, SOA, BPM и Разумные города), а также проектированием и реализацией инновационных решений для заказчиков в производственном и в государственном секторах.

Дидье является обладателем степени магистра в области вычислительной техники (Университет Epita, Франция), и степени MBA (Школа бизнеса при Уорикском университете, Великобритания).

LinkedIn: www.linkedin.com/in/christophe-didier-bb9b425/

Twitter: @ChristofDidier

Предисловие



Хьюберт Лалэйн (Hubert Lalanne)

Заслуженный инженер IBM

Технический руководитель производственного сектора
по региону Европа

Член организации IBM Academy of Technology

Я с огромным удовольствием отнесся к написанию предисловия к первому изданию работы под названием: «Индустрия 4.0 и когнитивное производство Архитектурные шаблоны, сценарии использования и решения IBM».

В общем случае термин «Индустрия 4.0» означает четвертую промышленную революцию. Другой вариант трактовки этого термина – преобразование промышленного мира под воздействием глобальной цифровой революции, которая уже оказывает влияние на многие другие сферы.

Согласно исследованию 2015 года компании Mc Kinsey под названием *Industry 4.0 How to navigate digitization of the manufacturing sector* большая часть ценностей, созданных в предшествующие промышленные революции, появилась в результате модернизации производственных активов. Нынешняя революция обещает повысить продуктивность и поддержать новые бизнес-модели путем введения в «промышленное пространство» новых трансформирующих технологий, не связанных с модернизацией основного машинного оборудования.

Ценность обуславливается всеобъемлющей оптимизацией т.н. «Цифровой цепочки выполняемых задач» (Digital Thread), то есть улучшением использования информации и избавлением от неэффективностей, вызываемых потерями информации на интерфейсах функций, сайтов и компаний.

Чтобы сделать все это реальностью, нам нужно осуществить конвергенцию кибермира цифровых технологий с физическим миром промышленных операционных технологий, объединить и проанализировать данные из нескольких источников и от нескольких компаний, предоставить в совместное пользование результаты по всей цепочке приращения ценности и гарантировать интеграцию с физическими производственными активами.

Индустрия 4.0 вводит несколько новых концепций: «Цифровая цепочка выполняемых задач» (Digital Thread), призванная гарантировать эффективное прохождение информации на всем протяжении от проектирования продукта до его вывода из эксплуатации и переработки, «Цифровой двойник» (Digital Twin), обеспечивающая преобразование разрозненных элементов данных в согласованные и нематериальные активы, и «Киберфизическая система» (Cyber Physical System), лежащая в основе децентрализованных самоуправляемых систем и процессов.

На сегодняшний день в сфере вычислительных мощностей действует несколько новых т.н. «подрывных» технологий, которые делают эту трансформацию вполне возможной: Облака, Большие данные, Блокчейн, Интернет вещей, расширенная аналитика с Машинным обучением и Искусственным интеллектом, взаимодействие «человек-машина» на основе мобильных и носимых устройств, дополненная/виртуальная реальность, когнитивный интерфейс «человек-машина», преобразование из цифрового в физическое представление с помощью передовой робототехники или 3D-печати.

Этот документ можно рассматривать как практическое руководство по выполнению подобного проекта с точки зрения ИТ-специалиста. В документе последовательно излагаются проблемы, а затем предлагается структурированный и пошаговый подход к их решению.

Серж Бонно (Serge Bonnaud) и Кристоф Дидье (Christophe Didier) обладают глубокими знаниями по внедрению подключенных систем, сочетающих многие из вышеперечисленных подрывных технологий. В частности, при создании этого документа они применили свой разнообразный опыт в различных промышленных сферах, стремясь либо улучшить в реальном времени прозрачность и управляемость производственных процессов, чтобы обеспечить взаимодействие между изолированными областями, либо сделать возможным новое сотрудничество между людьми и техникой.

В основе этого документа лежит концепция под названием «Промышленный интернет вещей» (Industrial Internet of Things, IIOT), базирующаяся на трехуровневой архитектурной модели.

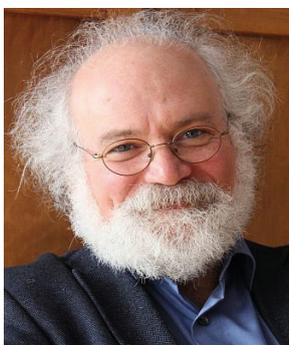
Различные уровни (слои) этой архитектуры описаны и проиллюстрированы путем реализации конкретных промышленных сценариев использования. При этом авторы представляют несколько новых шаблонов, таких как *Edge Analytics* и *Plant Service Bus*.

Еще одним критически важным аспектом Индустрии 4.0 является кибербезопасность. Конвергенция операционных технологий (ОТ) и информационных технологий (ИТ) порождает дополнительные риски и уязвимости, такие как возможное подключение производственных активов к открытым сетям. В одной из глав этого документа авторы приоткрывают завесу над всеобъемлющей моделью безопасности для ОТ-технологий.

Облачные технологии способны существенно снизить объем начальных капиталовложений в реализацию архитектур Индустрии 4.0. С другой стороны, модель развертывания не должна базироваться только на облаке.

Эта модель должна допускать реализацию надлежащих компонентов в надлежащем месте, задействовать более релевантные возможности обработки данных на уровне edge (граница) и на уровне shop floor (производственное помещение), plant (завод), enterprise (предприятие) или cloud (облако), а также обеспечивать согласованное развертывание и управление из облака.

И, наконец, в документе описывается возможная модель реализации, которая пользуется вышеупомянутой архитектурной моделью и методиками гибкой/динамичной разработки. На всем протяжении – от создания т.н. «минимально жизнеспособного продукта» (minimal viable product, MVP) и до непрерывного итеративного прохождения по новым сценариям использования – этот подход иллюстрируется несколькими примерами использования, в основе которых лежат ситуации реальных заказчиков.



Джон Кон (John Cohn)

**Почетный сотрудник IBM
Обладатель звания Distinguished Agitator
Подразделение IBM Research**

Я настоятельно рекомендую к прочтению этот документ по тематике Индустрия 4.0, авторами которого являются Серж Бонно (Serge Bonnaud) и Кристоф Дидье (Christophe Didier). Это самое лаконичное и всеобъемлющее описание Индустрии 4.0 из тех, которые я прочитал. Этот документ быстро проводит читателя от концепции к реализации и дает практические рекомендации по прохождению этого пути.

В этом документе представлены весьма солидные сценарии использования, которые поднимают читателя из производственного помещения с промышленными машинами и PLC-контроллерами на вершины аналитики, где в облаке действуют передовые решения, влияющие на бизнес. Масса прекрасных концепций наглядно объясняется и иллюстрируется примерами заказчиков. Это очень хороший материал!

Мои поздравления Сержу и Кристофу за то, что они объединили весь этот материал в одном документе!

Индустрия 4.0 и когнитивное производство

Повышение продуктивности самих производственных систем лежало в основе каждой промышленной революции. **Четвертая промышленная революция** обеспечивает повышение продуктивности, как производственных систем, так и систем управления. С точки зрения IBM в рамках четвертой промышленной революции мы входим в эпоху т.н. «когнитивного производства» (Cognitive Manufacturing), которая радикально отличается от всего того, что существовало ранее в этой области.

Цифровая трансформация производственных процессов создает новые возможности для достижения небывалого уровня продуктивности и специализации.

Рисунок 1
Четвертая промышленная
революция



Данные и, что еще важнее, **аналитические инструменты** меняют способы, посредством которых мы смотрим на наши машины, на наши процессы, на наши продукты и наши операции. Аналитика способна выявлять шаблоны в данных, раскрывать модели поведения оборудования и предсказывать отказы или проблемы с качеством продукции.

Все эти возможности (которые, в частности, предоставляет продукт Predictive Maintenance and Quality) позволяют технологиям Индустрии 4.0 занять важное место в стратегиях компаний. По мере того, как все больше заводов и элементов оборудования будет оснащаться IoT-средствами, объемы данных будут только нарастать.

Традиционные компьютеры будут прилагать огромные усилия к тому, чтобы масштабироваться в соответствии с огромными потоками данных и с высокой сложностью аналитики. Чтобы иметь возможность обрабатывать, анализировать и оптимизировать информацию, компьютеры должны стать когнитивными.

Чтобы действительно проложить путь к Индустрии 4.0 и дальше, производство должно эволюционировать к концепции, основанной на ИТ-технологиях цифровой фабрики, то есть к когнитивному производству. А также позволить внутривзаводским когнитивным способностям подумать о следующих двух ключевых задачах: **Оптимизация активов** и **Оптимизация операций**.

Трансформация и совершенствование производства посредством оптимизации активов и оптимизации операций реализуется на основе концепции под названием **Промышленный интернет вещей (Industrial IoT, IIoT)**. В этой статье мы стараемся объяснить принципы IIoT-платформы и сценарии применения на ее основе.

1. Концепция IIoT-платформы

1.1 Разнообразие производственных мощностей

Для многих заводов характерно широкое разнообразие оборудования, вариантов размещения и процессов, в которых задействованы унаследованные устройства, датчики, системы и приложения всевозможных возрастов и поколений.

Кроме того, многие из этих заводов опираются на различных поставщиков операционных технологий (Operational Technology, OT) для поддержки машинного оборудования, для производственных линий и для робототехники. Ресурсы завода – OT-технологии, машины, производственные линии и роботы – далеко не всегда подключенные к ИТ-сетям.

Такие средства для оркестровки производственных потоков, как PLC, SCADA и MES (Manufacturing Execution System), вносят весомый вклад в достигнутый к сегодняшнему дню уровень продуктивности.

Одна из тенденций, наблюдаемых на производственном уровне, состоит в том, чтобы сделать производственное помещение (shop floor) более компьютеризированным и обеспечить реальную конвергенцию между OT-технологиями и ИТ-технологиями. Это расширяет возможности для реализации единой глобальной архитектуры, которая бы охватывала несколько «измерений», таких как Equipment (оборудование), Edge (граница), Shop Floor (производственное помещение) и Cloud (облако).

В этом контексте и появилась **концепция** под названием Промышленный Интернет Вещей (Industrial Internet of Things, IIoT), призванная стать очередной платформой для инновационного производства. IIoT-платформу поддерживают такие технологии, как Аналитика, Большие данные, Специфический отраслевой контент, а также появившиеся позднее Когнитивные технологии, в свое время вышедшие из технологий Искусственного интеллекта.

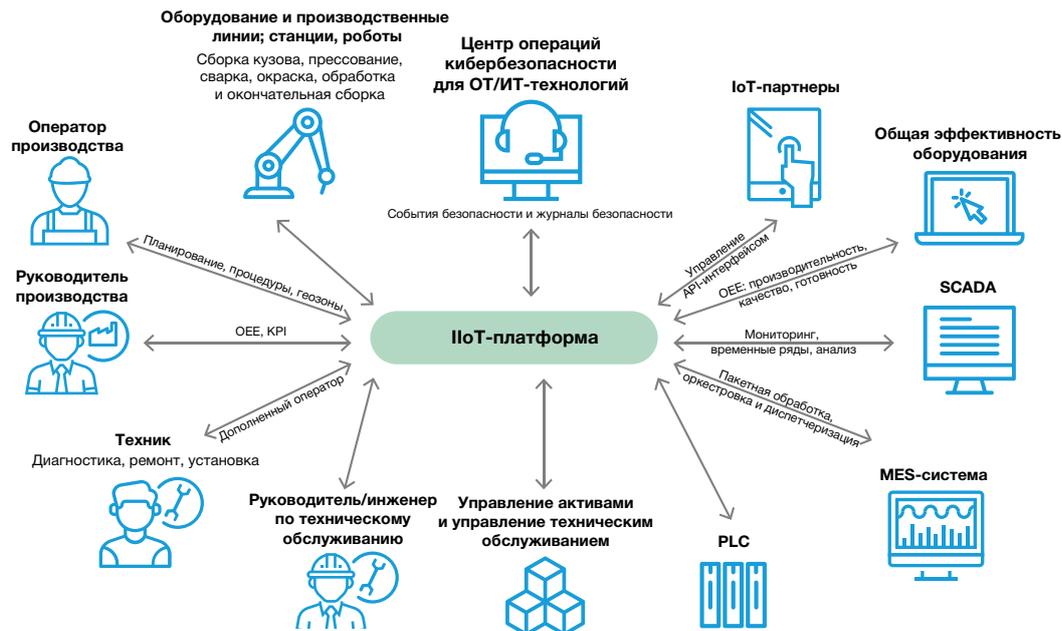
IIoT-платформа будет действовать как **центральная система** для сбора данных, а также предоставлять аналитику и предлагать новые сервисы внутренним бизнес-подразделениям, партнерам и операторам производственного оборудования. IIoT-платформа никогда не взаимодействует с операторами, с продуктами и с оборудованием непосредственно. Это соединение осуществляется через слой подключения или через Plant Service Bus. Данный вопрос подробнее будет рассмотрен в этом документе позднее.

На следующей схеме производственной системы показаны акторы и зависимости между **IIoT-платформой, рассматриваемой как единое целое**, и ее акторами, представленными системами, продуктами или людьми. В качестве иллюстрации мы используем взаимодействие с отдельными производственными процессами, подразумевая системы PLC и SCADA.

1.2 Схема системного контекста

Показанная ниже схема производственной системы иллюстрирует зависимости IIoT-платформы применительно к процессу производства автомобилей, в котором участвуют производственные линии для сварки, для сборки корпусов и для покраски. Эту схему можно с легкостью применить для других производственных процессов, при этом большинство концепций останутся релевантными.

Рисунок 2.
Схема производственной
системы



1.3 Должностные лица и основные проблемы

В производственном секторе каждый сотрудник является т.н. «должностным лицом», которое оказывает то или иное влияние на общую продуктивность и на качество продукции. Каждое **должностное лицо** имеет определенные **должностные обязанности**. В рамках концепции IIoT-платформы должностное лицо отвечает за гарантированное достижение определенных KPI-показателей.

Должностное лицо	Должностные обязанности	KPI-показатели	Проблемы
Руководитель производства	<ul style="list-style-type: none"> - Руководитель производства – это должностное лицо, которое контролирует и организует текущие операции производственного предприятия (или аналогичной организации). - Руководитель производства осуществляет контроль за персоналом, за производством и за эффективностью, чтобы обеспечить плавное, быстрое, рациональное и безопасное функционирование предприятия. 	<ul style="list-style-type: none"> - OEE. - Бюджет - Безопасность - Инновационность - Продуктивность 	<ul style="list-style-type: none"> - Недостаток квалифицированного персонала. - Коллективное взаимодействие. - Отношения с поставщиками. - Очень напряженные и часто меняющиеся планы - Дружественный к пользователю доступ к информации.
Руководитель по техническому обслуживанию (плановое техническое обслуживание)	<ul style="list-style-type: none"> - Он обязан гарантировать, что установки, компоненты оборудования, машины, механизмы и т.д. функционируют со своей максимальной эффективностью и продуктивностью. - В его обязанности входит техническое обслуживание, а также устранение отказов механического, электрического и роботизированного оборудования (включая программное обеспечение). - Кроме того, он отвечает за управление персоналом и за отчетность по бюджету/расходам. 	<ul style="list-style-type: none"> - Бюджет - Полное выполнение обязательных мероприятий. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ограниченное время на выполнение задач технического обслуживания. - Жесткий контроль над расходами (оптимальная экономическая эффективность).

Должностное лицо	Должностные обязанности	KPI-показатели	Проблемы
Инженер по техническому обслуживанию (текущее техническое обслуживание)	<ul style="list-style-type: none"> - Обеспечивает оптимизацию структуры подразделения технического обслуживания. - Анализирует повторяющиеся отказы оборудования. - Подсчитывает расходы на техническое обслуживание и оценивает альтернативные варианты. - Оценивает необходимость замены оборудования и инициирует программы замены в случае необходимости. 	<ul style="list-style-type: none"> - Время безотказной работы. OEE. - Бюджет. 	<ul style="list-style-type: none"> - Диагностика занимает слишком много времени/ Разнообразные системы. - Отсутствуют запасные части. - Администрирование и анализ увеличивают продолжительность простоя. - Процесс поиска поддерживающей информации занимает много времени.
Техник	<ul style="list-style-type: none"> - Оказывает содействие при установке нового производственного оборудования. - Осуществляет рутинное инспектирование и проверку оборудования и машин. - Реагирует на предупреждения и на оперативные сообщения – выполняет корректирующие процедуры и ремонты в соответствии с типовыми регламентами эксплуатации и технического обслуживания. - Корректирует документацию по стандартным проверкам и по необходимым ремонтам в соответствии с внутренними и внешними регламентами. 	<ul style="list-style-type: none"> - Продолжительность действий. - Соответствие нормативам. - Безопасность. 	<ul style="list-style-type: none"> - Часто испытывает стресс и является объектом давления (работать быстрее, повысить качество). - Отсутствие содействия на стадии диагностики. - Сложная для понимания документация. - Недостаток экспертной информации.
Оператор производства	<ul style="list-style-type: none"> - Настраивает производственное оборудование и готовит запасы перед исполнением нарядов на работы. - Осуществляет безопасную и эффективную эксплуатацию производственного оборудования. 	<ul style="list-style-type: none"> - Уровни качества и производительности. - Безопасность. 	<ul style="list-style-type: none"> - Часто испытывают стресс и являются объектом давления (работать быстрее, повысить качество). - Недостаток знаний. - Отсутствие поддержки во время инцидента. - Отсутствие информации для отчетности.

1.4 Существующая архитектура производства

На следующем рисунке показан существующий способ организации деятельности в производственном помещении. Мы наложили на этот рисунок основные компоновочные блоки (с точки зрения логической архитектуры).

Высокоуровневый обзор нынешней архитектуры: упрощенное представление

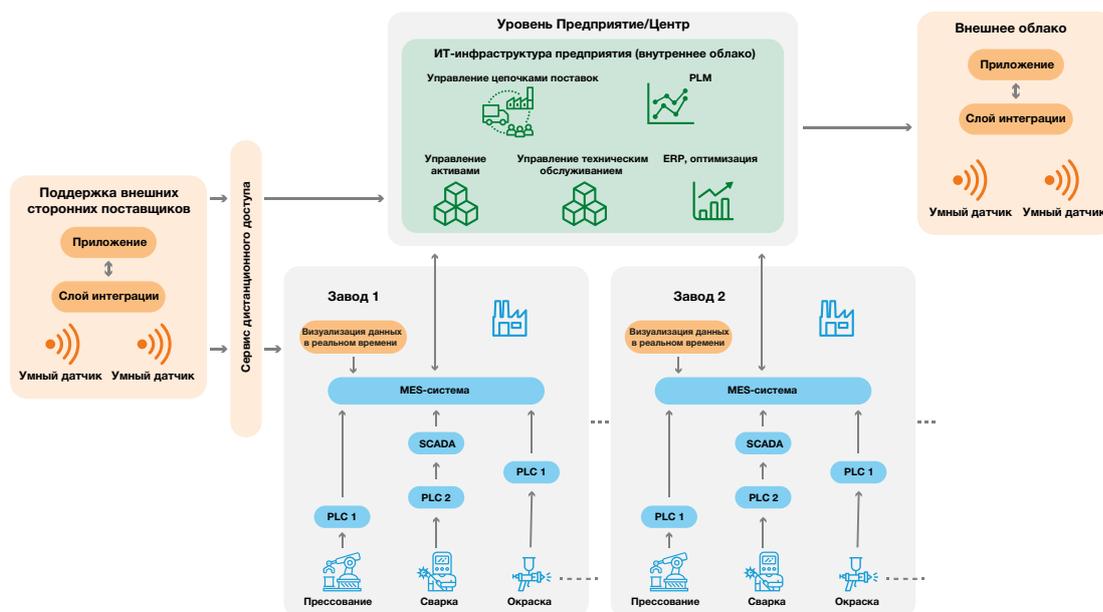


Рисунок 3.
Упрощенное
представление завода,
применяющего такие
средства, как MES,
PLC и SCADA

Каждый завод укомплектован производственными и сборочными линиями от различных ОТ-поставщиков. Линия состоит из набора станций, которые, в свою очередь, состоят из роботов. Устройства, роботы и машины образуют цепочку. Операторы исполняют заранее сформированные упорядоченные задачи.

PLC-контроллер (programmable logic controller – программируемый логический контроллер) представляет собой промышленный цифровой компьютер повышенной прочности, адаптированный к управлению производственными процессами (сборочные линии, робототехнические устройства) или любой деятельностью, для которой требуется управление с высокой степенью надежности, а также простота программирования и диагностики ошибок в процессах.

SCADA-система (Supervisory Control and Data Acquisition – диспетчерское управление и сбор данных) – это разновидность промышленных систем управления (industrial control system, ICS), которые применяются для контроля и отслеживания оборудования или завода в таких отраслях, как управление водоснабжением, сбор/обработка/удаление отходов, телекоммуникации, энергетика, транспорт, переработка нефти/газа. SCADA – это компьютерная система, используемая для сбора, анализа и представления данных операторам в реальном времени. Если ситуация развивается по опасному сценарию, SCADA-система выдает предупреждения в виде звуковых сигналов.

MES-система (Manufacturing execution systems – система управления производственными процессами) представляет собой компьютеризированную систему, применяемую на производственных предприятиях для отслеживания и документирования процесса преобразования исходного сырья в готовую продукцию.

MES-система предоставляет информацию, которая помогает лицам, принимающим производственные решения, понимать, как текущие условия в производственном помещении можно оптимизировать с целью увеличения выхода продукции.

Некоторые MES-системы способны функционировать в реальном времени, чтобы обеспечить контроль над несколькими элементами производственного процесса (входное сырье, персонал, машины и службы поддержки). Несколько известных MES поставляют следующие компании: Dassault Systems, SAP, Siemens, ABB.

Визуализация данных в реальном времени (Real-Time Data Visualization) – это компонент, способный собирать, предварительно обрабатывать и визуализировать большие объемы временных рядов данных из нескольких источников – в интересах персонала и систем, с охватом всех операций.

Осуществляющий визуализацию данных компонент способен подключаться к множеству интерфейсов, а также собирать данные в нескольких форматах и согласно нескольким протоколам. Этот компонент способен визуализировать временные ряды или осуществлять визуализацию на основе событий – поступающих от нескольких систем, таких как PLC, SCADA, шлюзы, устройства или датчики.

Подобно SCADA-системе и MES-системе Визуализация данных в реальном времени помогает оператору перейти от реактивного к упреждающему принятию решений. Несколько известных компонентов из этой области предлагают такие компании, как OSIsoft или Wonderware.

Компонент **Управление активами (Asset management)** состоит из действий и методик по отслеживанию функционирования активов компании и по эффективному использованию этих активов для получения полезных результатов. Управление активами состоит в идентификации и приоритизации работ, необходимых для соответствующих активов – не только для обеспечения окупаемости того или иного актива, но также в интересах анализа и стратегической координации с работами над другими возможностями.

Компонент **Управление техническим обслуживанием (Maintenance management)** использует интеллектуальное программное обеспечение, чтобы лучше отслеживать бизнес-ресурсы предприятия, такие как персонал, материалы и оборудование. Применение CMMS (computerized maintenance management software – программное обеспечение для компьютеризированного технического обслуживания) в интересах управления техническим обслуживанием гарантирует, что оборудование вашей компании будет всегда работать наилучшим образом, что избавит вас от непредвиденных ремонтов и от простоев в работе.

Процессы управления техническим обслуживанием и процессы управления активами имеют определенные технические различия, однако они взаимосвязаны и протекают совместно. Управление техническим обслуживанием помогает эффективно руководить физическими показателями оборудования и мероприятий технического обслуживания, а управление активами помогает анализировать все данные по работе, необходимые для функционирования самих активов.

1.5 Внедрение Интернета вещей в производственный процесс посредством серии логических шагов по получению ценности

Цифровизация производства на основе концепции IIoT-платформы предполагает, что для получения положительного результата («ценности») необходимо выполнить **четыре логических шага** в рамках согласованного по времени план-графика.

- **Сбор данных.** Данные могут поступать из таких систем, как EAM, ERP и MES. Кроме того, данные могут поступать непосредственно от оборудования, от роботов и от датчиков.
- **Визуализация шаблонов.** Этот шаг может выполняться с помощью инструментальных панелей, интерфейсов пользователя, других представлений, позволяющих увидеть данные.
- **Аналитика для улучшения понимания.** Применение предиктивной аналитики и предписывающей аналитики, а также специализированных отраслевых аналитических моделей.
- **Когнитивные технологии.** Новые способы обработки неструктурированной информации (изображения, видео, звук), а также алгоритмы машинного обучения.

Рисунок 4.
План-график
выполнения четырех
логических шагов



Предполагаемые выгоды от выполнения четырех логических шагов в рамках согласованного по времени план-графика:

Прирост продуктивности. Повышение пропускной способности и эффективности, исключение бесполезной деятельности.

Предотвращение отказов. Наивысшее значение показателя OEE, избежание переделок, брака, отказов, продукции низкого качества.

Гибкость. Сокращение сложности, низкие трудозатраты на (ре)конфигурирование, на подключение и на производство, что избавляет от технологических провалов.

1.6 Расширение нынешней производственной архитектуры с помощью трехуровневого подхода

В промышленном производстве и в Индустрии 4.0 наилучшим подходом считается внедрение **распределенной трехуровневой архитектуры**. Хорошая архитектурная модель учитывает требования автономности и самодостаточности для каждой производственной площадки и выравливает рабочую нагрузку на различных уровнях: Edge (граница), Plant (завод) и Enterprise (предприятие).

Для того, чтобы реализовать в решении хорошую архитектуру, необходимо преодолеть проблему **интеграции**, причем как **вертикальной**, так и **горизонтальной**.

На следующей схеме показано, как эта проблема интеграции обычно выглядит в производственном контексте.

На уровне устройств информация находится в слое управления, а доступ к ней осуществляется посредством широкого разнообразия специфических промышленных протоколов (OPC, OPC-UA, Skid, Bacnet, Profibus, Ethernet-IP и т.д.). Эта информация также может содержаться в файловых системах или в производственных базах данных.

Расширенная фабрика с возможностями IBM: обзор архитектуры

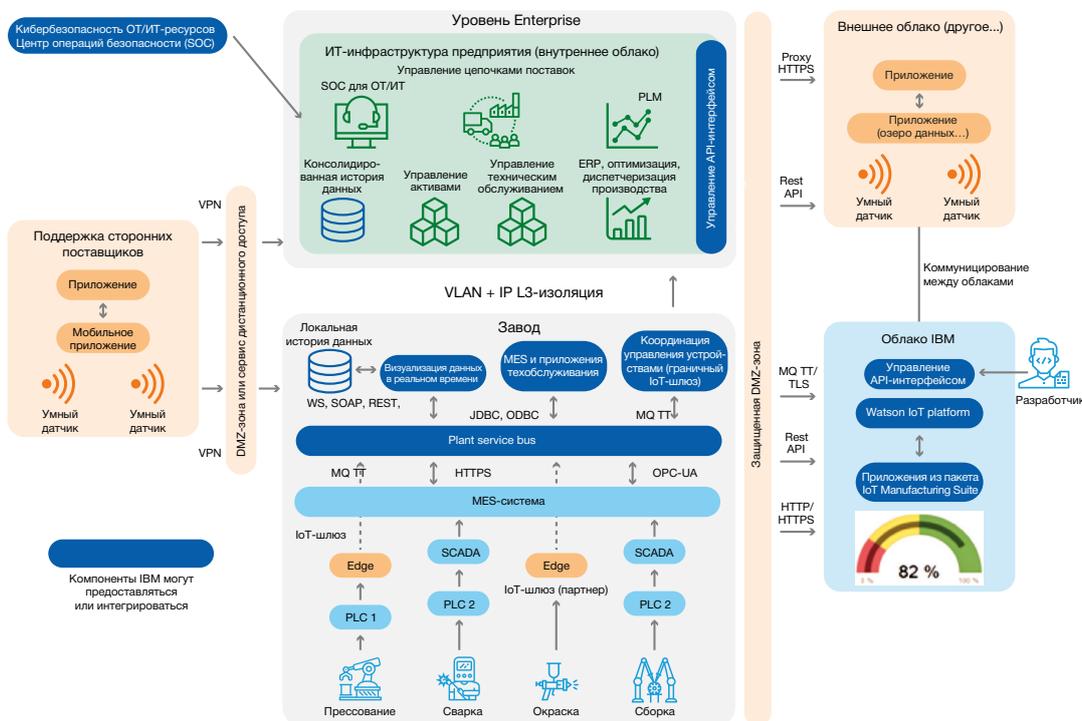


Рисунок 5. «Расширенная» фабрика – Edge, Plant Service Bus и IoT-платформа.

В большинстве случаев также могут потребоваться новые инструментальные средства (например, акустические датчики на роботах или RFID-метки на оборудовании). Чтобы решить эту интеграционную проблему, рекомендуется предложить сочетание интеграционной технологии с граничными/шлюзовыми устройствами между разными поставщиками.

Таким образом, описываемый ниже итоговый архитектурный шаблон предлагает решение на основе следующих трех уровней:

- **Уровень Edge**
- **Уровень Plant, Factory или Shop Floor (уровень фабрики)**
- **Уровень Enterprise (или бэкэнд-уровень)**

На уровне фабрики практическая методика состоит в том, чтобы на каждом заводе реализовать сервисную шину (часто носит название **Plant Service Bus**) для управления локальной деятельностью и для подключения к физической среде (PLC, SCADA, Skid, OPC, Edge).

В дополнение к сервисной шине рекомендуется на уровне **Edge** развернуть **программную технологию Embedded Analytics**. Физические Edge-компоненты представляют собой устройства (шлюзы, хаб, модули подключения), которые обеспечивают подключение OT-сети к ИТ-сети и преобразуют сигналы и события, исходящие из PLC/SCADA, в защищенные цифровые данные, видимые в ИТ-сети.

На уровне **Enterprise** корпоративные или специализированные отраслевые приложения будут развернуты для решения различных задач, таких как Управление активами, Управление техническим обслуживанием, Управление общей эффективностью оборудования и Предупредительное техническое обслуживание. Некоторые из этих задач могут потребовать установки локальных фрагментов соответствующих решений на уровне Shop Floor.

Инфраструктура для поддержки этих приложений может базироваться на сочетании различных облачных моделей и локальных ИТ-ресурсов в рамках гибридной модели. Уровень этой гибридизации должен быть определен в самом начале проекта.

Уровень гибридизации рассматривается преимущественно как **компромисс** и **баланс** между такими факторами, как ограничения предприятия, соображения управления и эксплуатации, требования к задержке и к производительности, ограничения по конфиденциальности данных и, наконец, финансовые соображения (стоимость долговременного хранения данных).

1.6.1 Полная расширенная трехуровневая архитектура

После того, как связующее ПО на уровне Shop Floor развернуто, появляется хорошая возможность после технических компонентов сконцентрироваться на бизнес-компонентах решения.

Бизнес-компоненты реализуются с помощью особых приложений, которые вносят свой вклад в достижение заданных показателей продуктивности, увеличивают период работоспособности и сокращают простои, а также обеспечивают гибкость для динамического реконфигурирования производственного оборудования.

Пакет IoT for manufacturing состоит из нескольких промышленных приложений, которые можно развертывать независимо или в случае необходимости заменять другими, сторонними модулями, хотя очевидно, что эти модули придется интегрировать в общее решение.

IBM предлагает на рынке пакет под названием Watson IoT For Manufacturing, в состав которого входит следующий набор приложений.

- Equipment Advisors.
- Acoustic Insights .
- Visual Analytics.
- Plant Performance Analytics.
- Prescriptive Maintenance.
- Prescriptive Quality.
- Prescriptive Warranty.

Plant Performance Analytics: Анализирует данные, генерируемые датчиками оборудования, чтобы обеспечить наблюдаемость факторов, обуславливающих снижение продуктивности.

Prescriptive Maintenance: Выявляет и ослабляет риски, снижающие надежность актива, которые способны неблагоприятно повлиять на операции завода или бизнеса.

Prescriptive Quality: Применяет предписывающую аналитику для повышения качества производственных процессов, материалов, компонентов и продуктов.

Prescriptive Warranty: Выявляет условия, которые приводят к ускоренному износу продуктов, что помогает минимизировать гарантийные претензии и сопутствующие потери.

Visual Analytics: Помогает выявлять и устранять дефекты продукции посредством когнитивного визуального инспектирования, что снижает затраты на производственный персонал, а также повышает продуктивность и качество продукции.

Acoustic Analytics: Использует звук в качестве дополнительного источника неструктурированных данных для выявления аномалий и распознавания шаблонов.

Equipment Advisors: Обеспечивает глубокий анализ ретроспективных данных и данных реального времени с целью отыскания корреляций и шаблонов в структурированных данных и в неструктурированном тексте, в том числе в инструкциях по эксплуатации, в журналах технического обслуживания и в нарядах на работы.

Прирост продуктивности. Повышение продуктивности и эффективности, исключение не создающих стоимости мероприятий, снижение нагрузки на оператора и рационализация его деятельности.

Предотвращение отказов. Наивысшее значение показателя OEE, избежание переделок, брака, отказов, продукции низкого качества.

Гибкость. Сокращение сложности, низкие трудозатраты на (ре)конфигурирование, на подключение и на производство, что избавляет от технологических провалов, от реконфигурирования и от переупорядочивания производственных линий.

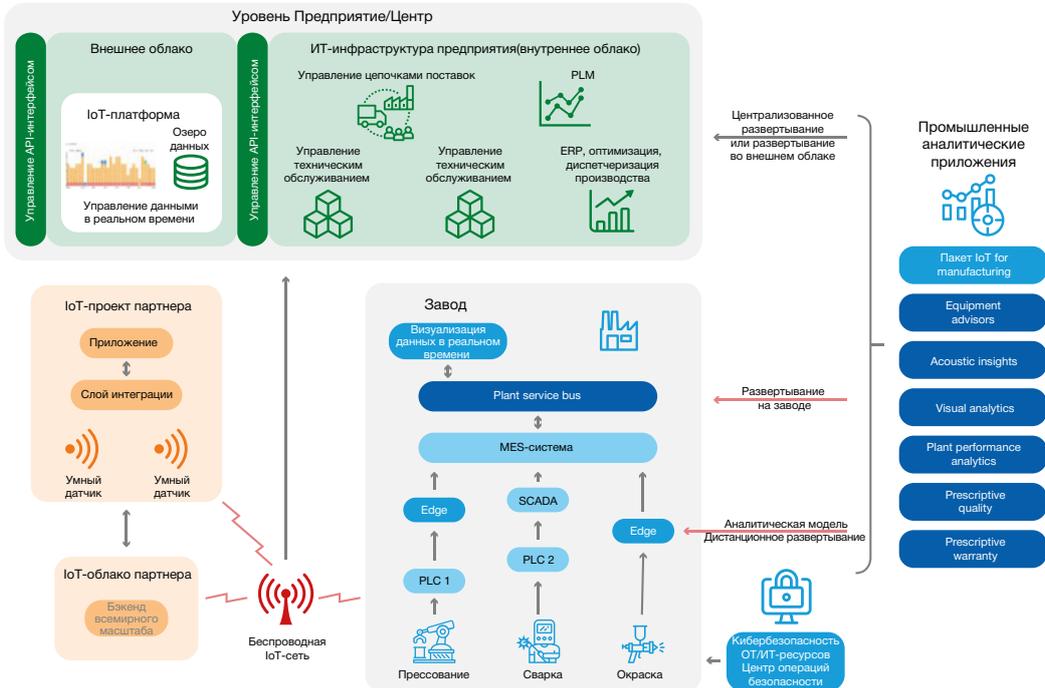


Рисунок 6.
Цифровая производственная архитектура с промышленными приложениями IBM

1.6.2. Дополнительные соображения и рекомендации относительно компоновочных блоков

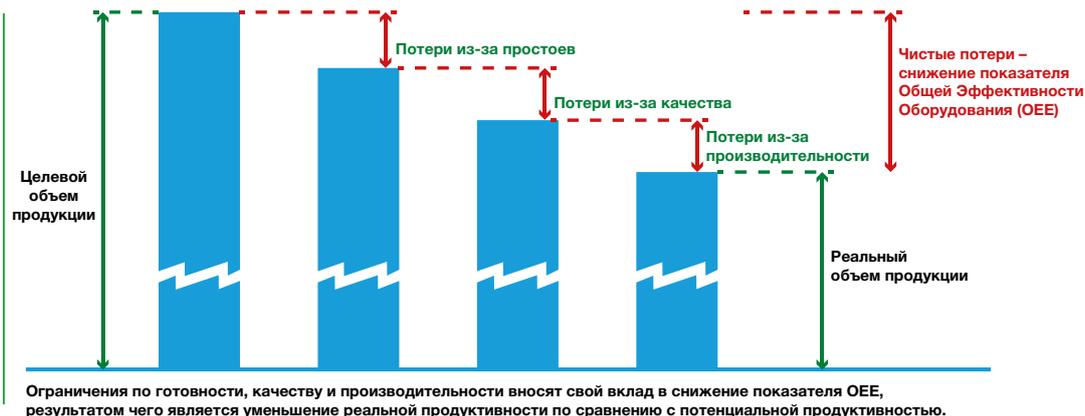
Мы хотим поделиться следующими рекомендациями и наилучшими методиками:

- Plant Service Bus (PSB):** Шина PSB – это очень важный структурный компонент для мониторинга, для организации и для направления потоков внутри завода, а также между предприятием и заводом. Обычно этот компонент вносит весомый вклад на уровне межзаводской интеграции между заводами и системами предприятия, процессами и людьми, обеспечивая маршрутизацию, преобразование, посредничество, конфигурирование и поддержку потоков работ. Предполагается, что эффективная шина PSB предоставляет возможности OT/IT-адаптера и OT/IT-шлюза, что позволяет реализовать функциональность, интеграционную логику, агрегацию, отображение с внешним конфигурированием на основе правил. Компонент PSB от IBM (на базе пакета IBM Integration Bus Manufacturing Pack) на лету обеспечивает фильтрацию данных, вычисления, агрегацию, сжатие и подготовку к дальнейшей фильтрации. Шину PSB необходимо развернуть на самых ранних этапах проекта, таким образом, ее наличие следует считать строго обязательным требованием перед развертыванием приложений для визуализации данных, аналитических приложений и когнитивных приложений.
- Enterprise Service Bus:** Шина ESB часто применяется автоматически для управления производственными потоками между заводами и центром. С функциональной точки зрения шина ESB играет ту же роль, что и шина Plant Service Bus, и может быть поддержана той же разновидностью решения.

- **IoT Platform:** IoT-платформа, развернутая в облаке IBM, позволяет создавать озера данных (Data Lake) с меньшими расходами, создавать новые промышленные инструментальные панели, интегрировать аналитические модели клиентов, управлять API-интерфейсом на протяжении его жизненного цикла и представлять данные внешним партнерам. Данные в эту платформу могут поступать из разных источников, таких как озера данных, бэкенд-приложения, партнеры или другие поставщики облачных сервисов (Azure...).
- **Edge Analytics:** Вполне релевантным может оказаться вариант развертывания сервиса на границе (Edge) – в этом случае можно влиять на показатели процесса путем оценивания события в облаке и возвращения действия на границу/в рабочую ячейку. Исходя из своего опыта, мы рекомендуем использовать сервисы аналитической оценки, развернутые на границе, где имеет место очень высокая частота событий, исходящих из производственной ячейки, и где критически важно быстро оценивать аномалии, а затем инициировать удаление потенциальных дефектов из производственной линии. Мы также рекомендуем использовать граничные сервисы при оценке и классифицировании визуальных изображений, например, когда при высокоскоростном инспектировании компонентов с целью выявления дефектов время является критическим фактором. Мы также рекомендуем рассмотреть возможность использования граничных сервисов при агрегации или фильтрации больших объемов телеметрических данных, которые можно консолидировать в события меньшего размера. Это позволит снизить нагрузку на сеть и уменьшить расходы на передачу больших объемов часто меняющихся параметров. Типичным бизнес-приложением, использующим граничные возможности, является решение Visual Inspection и его аналитические сервисы оценки. В общем случае следует сконцентрироваться на выяснении того, какой сервис будет наилучшим образом поддерживать развернутый на границе вычислительный узел. Для реализации граничной аналитики на рынке имеется несколько потенциально подходящих технологий (SDK-комплект и механизм исполнения).
- **Локальная MES-система (Manufacturing Execution System):** Во многих реальных ситуациях этот компонент уже задействован для диспетчеризации и оптимизации производства. Наличие такой системы часто принимается как рабочее допущение на этапе интеграционного проекта; такая система обязательно должна являться частью итогового решения. MES-система или приложение Plant Maintenance Application потенциально подключено к шине Plant Service Bus. Шина PSB, управляя преобразованием потока данных и взаимодействием протоколов, помогает сократить соединительный уровень всей архитектуры. В общем случае, имеется один экземпляр MES-системы на уровне Central IT (Центр/ИТ). Этот экземпляр готовит для всех заводов регламентированные пакетные команды. Ситуация на уровне shop floor может быть аналогичной, но может и отличаться, что усиливает необходимость в развертывании слоя подключения, чтобы сократить масштабы связывания, контролирования и мониторинга потоков между уровнем enterprise (предприятие) и уровнем plant (завод).
- **Local Plant Maintenance (Управление активами).** Многие компании уже очень давно рассматривают наличие таких компонентов как рабочее допущение на этапе интеграционного проекта. Система Local Plant Maintenance также может быть подключена к шине PSB.
- **Промышленные приложения (Visual Inspection, Acoustic Insights, Plant Performance Analytics, Equipment Advisor...)** – это примеры промышленных приложений, включенных в пакет Watson IoT Watson for Manufacturing. Эти приложения описываются в разделе 4: Промышленные приложения.

- **OEE (Overall Equipment Effectiveness):** Этот компонент очень важен. Он выявляет ограничения продуктивности путем анализа данных, собранных от контроллеров машин, от датчиков и от транзакционных систем, чтобы обеспечить прогнозирующую наблюдаемость факторов, влияющих на снижение показателя OEE. Он прогнозирует статистическую вероятность отказов оборудования, сбоев процессов и замедлений производственных линий; он количественно оценивает влияние этих потенциальных событий на показатель OEE завода или производственной линии, а затем выявляет первопричины этих событий и предлагает оптимизированные планы технического обслуживания.

Рисунок 7.
Определение OEE:
Производительность*
Качество * Готовность



- **IoT-проект партнера:** Наблюдаемая в настоящее время тенденция состоит в том, чтобы сделать производственную систему более открытой – это улучшит безопасное представление данных/сервисов экосистеме партнеров. Каждая производственная компания имеет партнеров, с которыми ей нужно взаимодействовать. В этой связи рекомендуется использовать набор API-интерфейсов. В общем случае надзор за API-интерфейсами осуществляется при посредстве специального приложения, которое управляет правилами различных политик и связанных с ними SLA-соглашений (Service Level Agreement). Более подробно этот вопрос рассматривается в параграфе Управление API-интерфейсом. Чтобы улучшить безопасность и мониторинг потока, представлять API-интерфейсы можно на уровне шины ESB или шины PSB.
- **Управление API-интерфейсом (внутреннее):** Еще один эволюционный шаг и дополнительная выгода будут состоять в развертывании приложения, которое представляет собой решение для всеобъемлющего управления API-интерфейсом на всем протяжении его жизненного цикла. Это решение позволит автоматизировать создание API-интерфейсов, упростить обнаружение систем записей, самостоятельно осуществлять доступ к внутренним и сторонним разработчикам с мощными встроенными средствами защиты и руководства.
- **Управление API-интерфейсом (внешнее):** В качестве естественного расширения внешним партнерам можно представить API-интерфейсы, которые будут иметь такой же охват, как и API-интерфейс для внутренних систем. Это позволит расширить базу клиентов путем предоставления доступа к информации и даже путем монетизации данных или процессов.

2. Edge Analytics

Многие заказчики все чаще обращаются к стратегии IIoT, совершенно не имея представления о пространстве шлюзов, сетей и устройств. Сегодня для заказчика очень важно иметь возможности для поддержания партнерских отношений со всеми ключевыми игроками, чтобы гарантировать себе способность к взаимодействию, а также максимально широкий выбор и максимальную гибкость в будущем.

Такие цели, как способность к взаимодействию и гибкость, могут быть достигнуты лишь посредством **глобального архитектурного мышления, как объясняется ниже в этом документе**. Сервис-ориентированный подход, охватывающий уровень Edge, уровень Shop Floor и уровень Enterprise, рекомендуется реализовывать посредством подхода на основе API и микросервисов. Каждый из этих уровней должен быть в состоянии представлять понятные, документированные, реализуемые и работоспособные единые API-интерфейсы.

Несмотря на то, что корпорация IBM, по существу, не присутствует на рынке адаптеров и физических граничных устройств, она имеет много партнеров, которые работают в сфере Интернета вещей и Индустрии 4.0, например, **ABB, KUKA, Enocean, Intel, Cisco, Schneider, Hilscher, Festo, Minitec, TE, Softing, PRO ALPHA SIGFOX** и многие другие... (перечень неполный).

Что мы делаем на уровне Edge?



Рисунок 8. Партнерские отношения IBM в сфере Edge Analytics и Edge Computing

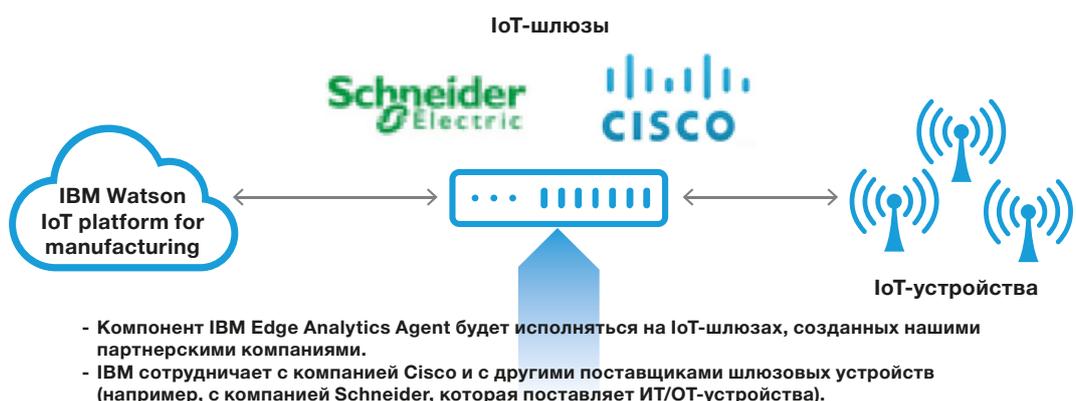


Рисунок 9. Решение Edge Analytics

IBM и Cisco: Реализация когнитивного Интернета вещей уровне Edge

www.youtube.com/watch?v=6Hhhugr1ffQ

KUKA Robotic: IBM и KUKA совместно занимаются совершенствованием производственных операций и процессов с помощью адаптивной робототехники.

www.ibm.com/blogs/internet-of-things/adaptive-robots-watson-kuka/

Пример использования технологии с открытым исходным кодом в интересах Edge-аналитики. Apache Edgent – это модель программирования и среда исполнения в стиле «микроядро», которую можно встроить в шлюзы и в занимающие мало места граничные устройства. Это позволяет применить локальный анализ реального времени к непрерывным потокам данных, поступающим от оборудования, от устройств и от датчиков всех типов.

<http://edgent.apache.org/>

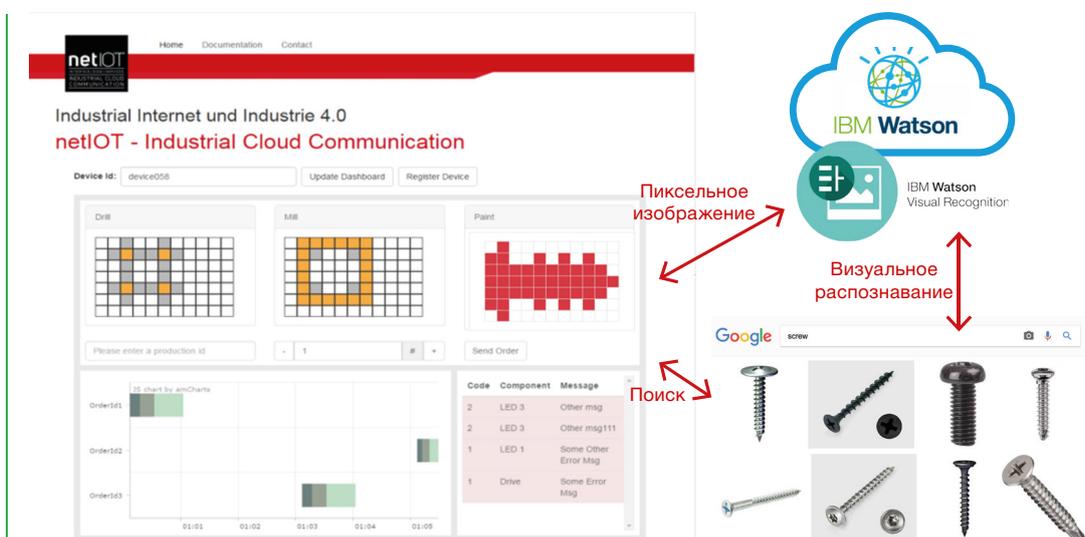
Пример: Платформа Sierra Wireless Legato® представляет собой сочетание основанной на Linux операционной системе, BSP-пакета, специализированных инструментов разработки и надежных API-интерфейсов. Доступ к этой платформе реализуется посредством сервисов Platform Services, что позволяет создавать программное обеспечение на IoT-устройствах.

www.sierrawireless.com/products-and-solutions/embedded-solutions/open-source-initiatives/

Организация IoT Center (Мюнхен), лаборатория Industry Lab, производственно-ориентированные демонстрационные стенды: Cognitive Industrial Robotics – в этом превосходном демонстрационном стенде задействовано связующее ПО INTU и такие технологии, как визуальное 6D-распознавание, машинное обучение, углубленное обучение и подкрепляемое обучение, когнитивное распознавание речи и когнитивное техническое обслуживание роботов. При этом используются такие продукты, как Watson Speech to Text, Watson Translation и Watson Natural Language Classifier.

Hilscher: Цифровой двойник на базе Hilscher netIOT Rules CPS: Основанные на правилах интеграция и взаимодействие киберфизических систем в архитектурной среде Индустрия 4.0 от IBM. Двухнаправленная интеграция между физическим устройством и его цифровым представлением с помощью продукта Watson Visual Recognition.

Рисунок 10.
Hilscher и IBM
взаимодействуют на
уровне Edge



SIGFOX: Многочисленные примеры сотрудничества на уровне производственного цеха и цепочки поставок, причем на некоторые из них распространяется Соглашение о соблюдении конфиденциальности.

ABB и IBM сотрудничают в области решений для промышленного искусственного интеллекта. ABB и IBM объявили о своем стратегическом сотрудничестве, в рамках которого цифровое решение **ABB Ability™** использует когнитивные способности IBM Watson IoT, чтобы ускорить внедрение промышленного искусственного интеллекта. www03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/52154.wss

SmartFactoryKL – Обучающая фабрика IBM и эталонная архитектура Industrie 4.0 Reference Architecture: Первый в мире независимый от производителя завод уровня Индустрия 4.0, реализованный совместно с партнерами; ведущим партнером является один из первых пяти центров компетенции Mittelstand 4.0 Competence Center, объявленных Федеральным министерством экономики и энергетики Германии. Вклад IBM охватывает все аспекты архитектуры Industrie 4.0 Reference Architecture, в том числе: интеграция машин, цифровой двойник (Digital Twin) производственной линии, решение Predictive Analytics, IoT-технология и демонстрация возможностей Cognitive Factory на базе Watson.



Рисунок 11. SmartFactoryKL: Обзор

Нынешние партнеры



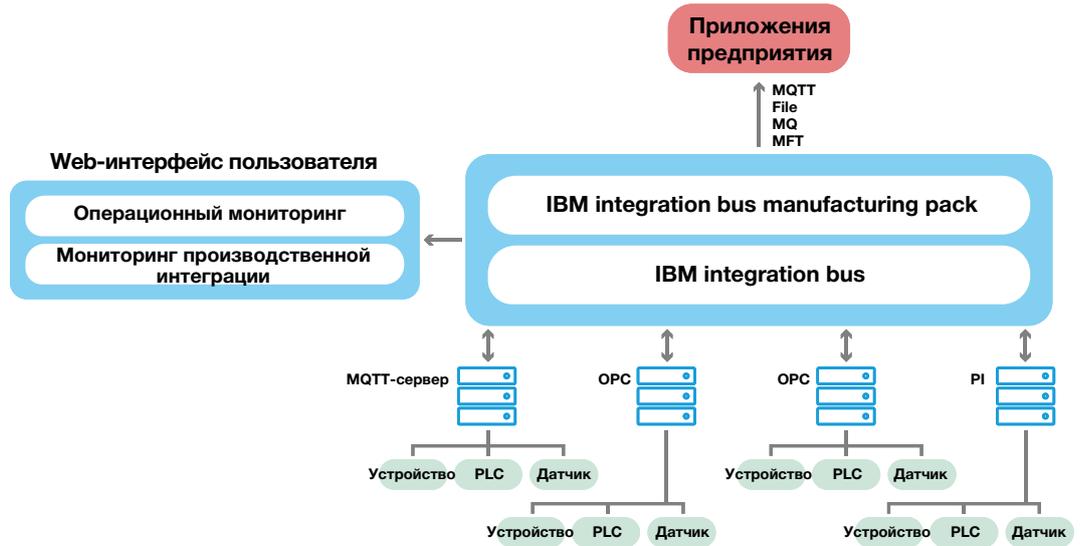
Рисунок 12.
Карта партнеров по
проекту SmartFactoryKL –
Industrie 4.0

Шина **Plant Service Bus**, подключенная к границе и к граничным устройствам, стандартизирует коммуникацию (управление протоколами, посреднические потоки, мониторинг и представление API-интерфейса) между уровнем Edge (со слоем устройств) и остальными компонентами производственного помещения. Благодаря PSB производственные операции будут использовать меньше непосредственных двухточечных соединений. Это сделает глобальное решение более развитым, более единообразным и более модульным за счет уменьшения уровня общего связывания.



Рисунок 13.
Инструментальная
панель SmartFactoryKL

Рисунок 15.
Обзор архитектуры PSB



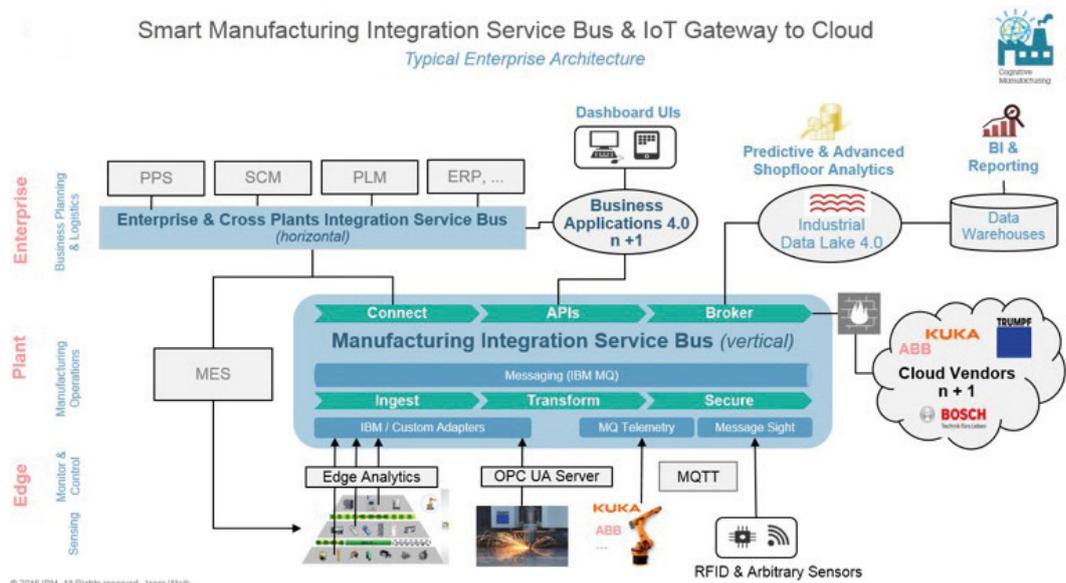
Пакет IBM® Integration Bus Manufacturing Pack базируется на среде IBM Integration Bus, чтобы обеспечить поддержку приложений в производственном секторе.

Пакет IBM Integration Bus Manufacturing Pack предоставляет следующие возможности.

- Интеграция ваших OPC-серверов с приложениями IBM Integration Bus.
- Интеграция источников данных с приложениями IBM Integration Bus с помощью PI-сервера.
- Использование протокола подключения MQ Telemetry Transport (MQTT) для реализации сервиса публикации/подписки.
- Просмотр информации о состоянии развернутых потоков сообщений.

Plant Service Bus обеспечивает цифровое преобразование производственных процессов и подключение систем, при этом скорость производственной системы может повыситься на **30%**, а эффективность – на **25%**. Это позволяет ускорить процесс автоматизации благодаря исключению более **95% ручных операций** и более **90% созданных на заказ приложений**.

Рисунок 16.
Manufacturing Integration
Service Bus – Эталонное
развертывание



© 2016 IBM. All Rights reserved. Joerg Wick

smartFactory^{KL} – первая в мире независимая от производителя производственная фабрика уровня Индустрия 4.0. <http://smartfactory.de>.



Рисунок 17.
Демонстрационный
стенд SmartFactoryKL

smartFactory^{KL} – это сетевая структура, объединяющая более 45 организаций-членов (промышленных и исследовательских). Эти партнеры осуществляют исследовательские и опытно-конструкторские проекты по тематике Индустрия 4.0 и Фабрика будущего.

www.ibm.com/blogs/bluemix/2017/06/smartfactorykl-industrie-40-reference-architecture-example/

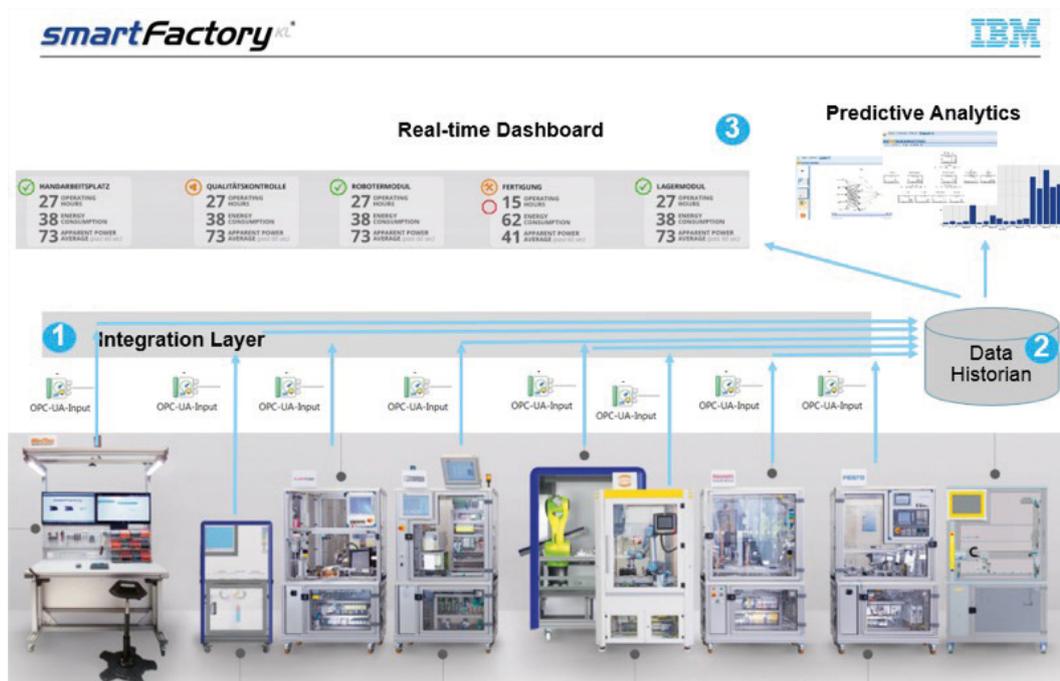


Рисунок 18.
Проект SmartFactoryKL:
Уровень интеграции,
поддерживаемый
шиной PSB

Индустрия 4.0 и когнитивное производство

IBM Watson IoT for Manufacturing – это пакет промышленных аналитических решений, предоставляемых конечному пользователю в виде т.н. «промышленных приложений» (Industry App). Этот пакет, ориентированный на производственные и промышленные сценарии использования, предлагается согласно нескольким моделям развертывания.

Этот пакет обеспечит снижение расходов и повышение операционной эффективности на всем протяжении цепочки приращения производственной ценности путем анализа различной информации из потоков работ, из контекста и из среды, благодаря чему повышается качество, улучшаются операции и рационализируется процесс принятия решений.

Эти промышленные приложения предназначены в первую очередь для следующих категорий сотрудников: технический директор, руководитель производства, OEE-менеджер, операторы, инженеры по эксплуатации или техники по эксплуатации.

IBM Watson IoT for Manufacturing обеспечивает преобразование производства посредством двух функциональностей: Asset Optimization (оптимизация активов) и Operation Optimization (оптимизация операций).

- Функциональность **Asset Optimization** использует Интернет вещей и когнитивные возможности для восприятия, для коммуницирования и для самодиагностики проблем, что позволяет оптимизировать продуктивность и сократить ненужные простои.
- Функциональность **Operation Optimization** повышает степень определенности для бизнеса путем анализа разнообразной информации из потоков работ, из контекста и из среды, чтобы повысить качество, улучшить показатель OEE, увеличить продолжительность бесперебойной работы, усовершенствовать операции и рационализировать процесс принятия решений.

Оптимизация активов

Сокращение незапланированных простоев

Предупредительное техническое обслуживание

- Прогнозирование отказа актива
- Предписывающие стратегии технического обслуживания
- Оптимизация расписаний технического обслуживания

Выяснение состояния

- Анализ состояния и показателей актива
- Сокращение продолжительности ремонта
- Увеличение коэффициента использования актива

Оптимизация операций

Улучшение KPI-показателей производства

Оптимизация качества

- Повышение качества продукции и процесса
- Сокращение отходов и увеличение выхода продукции

Оптимизация продукции

- Оптимизация показателя OEE
- Оптимизация производительности
- Исключение отходов

Рисунок 19.
*Watson IoT for Manufacturing:
Охват и функции*

Пакет IBM Watson IoT for Manufacturing



Рисунок 20.
Watson IoT for
Manufacturing:
Возможности

Пакет Watson IoT for Manufacturing задействует различные категории аналитики.

- **Машинное обучение** автоматизирует построение аналитических моделей. Эта технология использует методы на основе нейронных сетей. Типичные области применения – распознавание образов и распознавание речи.
- **Анализ изображений** опирается на распознавание шаблонов и на глубинное обучение с целью распознавания объектов на изображении или на видео. Если машины способны обрабатывать, анализировать и понимать изображения, они могут фиксировать изображения или видео в реальном времени и интерпретировать окружающую обстановку.
- **Акустический анализ** позволяет организации использовать звуки завода и звуки операций с целью автоматического выявления аномалий, дефектов и, соответственно, проблем с качеством продукции.
- **Анализ текста** извлекает высококачественные структурированные данные из неструктурированного текста. Хорошее обоснование для использования анализа текста – извлечение дополнительной информации о продуктах, об оборудовании и об описаниях промышленных процедур из источников неструктурированных данных.

3.1 Иллюстрация на уровне Factory: Сценарий использования акустического анализа

Техническое обслуживание производственной линии – это трудоемкая и дорогостоящая деятельность. Важнейшее значение имеет знание того, когда следует проводить техническое обслуживание актива с целью достижения его максимальной производительности. Акустический анализ позволяет прослушивать оборудование с целью быстрого выявления дефектов и генерации рекомендаций по техническому обслуживанию. Этот подход применим во многих областях эксплуатации и для самого различного оборудования – от ветроэнергетических установок, поездов, лифтов и подъемников и вплоть до важнейшего индустриального машинного оборудования.

Акустический анализ «слушает» фабричное оборудование и устройства и определяет наличие отказов путем выявления аномалий в «услышанном» шуме.

Приложение IBM Cognitive Acoustic предоставляется как сервис на платформе Watson IoT Platform. Машинное обучение формирует базу знаний по звукам с целью выявления аномалий. В сочетании с решениями Hardened Mobile Solutions это позволяет использовать возможности данного сервиса в практической деятельности на уровне производственного помещения.

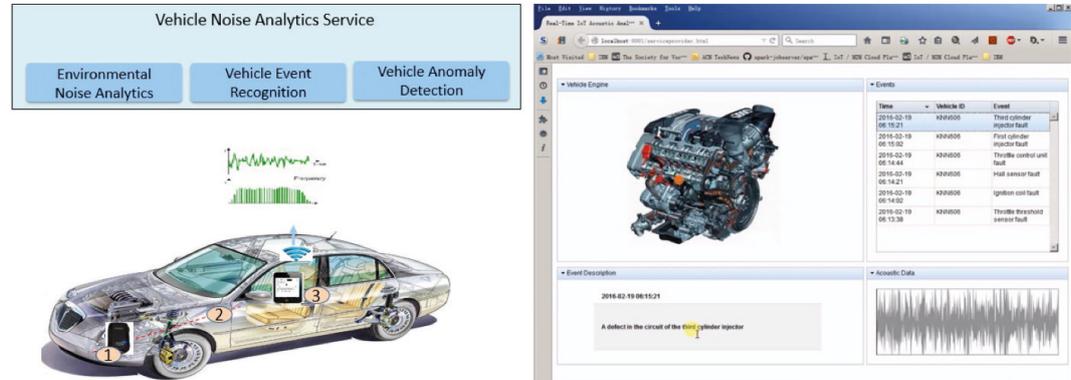


Рисунок 21.
Диагностика автомобильного двигателя по акустической информации

3.2 Иллюстрация на уровне Edge: Сценарий использования визуального инспектирования

Иллюстрация пользы от применения машинного обучения для визуального инспектирования при сборке кузова автомобиля на примере дверной ручки. Сегодня производители сталкиваются с высокими рисками, связанными со сложными мероприятиями по визуальному инспектированию. Каждому производителю требуется множество сотрудников – инспекторов, операторов и инженеров – которые испытывают очень высокую рабочую нагрузку в виде повторяющихся задач, связанных с попытками идентифицировать сотни типов дефектов. Такая сложная деятельность, не поддающаяся высокоэффективной автоматизации, требует умений, обучения и опыта.

Это порождает большие расходы завода, трудности обеспечения точности/единообразия инспектирования, необходимость обучения сотрудников и потенциальные проблемы со здоровьем инспекторов, работающих в опасных зонах.

Use Case: Watson IoT Edge AI Computing Private Eyes and Ears for Predictive Maintenance and Quality Control

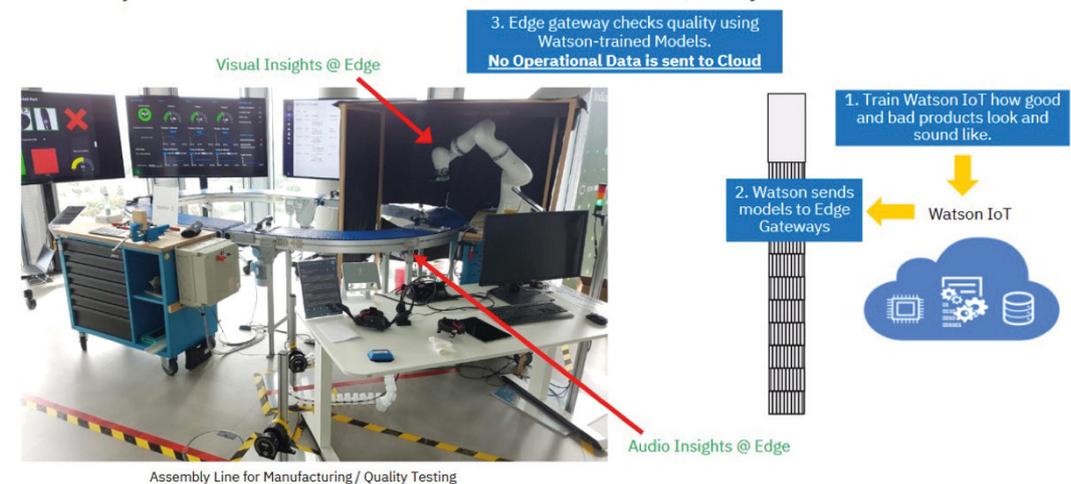


Рисунок 22.
Визуальное инспектирование дверной ручки при сборке кузова автомобиля при участии KUKA и IBM

Это промышленный демонстрационный стенд, который можно увидеть в IoT Munch Headquarters, был спроектирован при участии BMW и KUKA. При этом разработчики руководствовались следующими принципами:

- Собрать данные от линии оборудования и в реальном времени получить результаты их анализа и оценки.
- Посредством точного прогнозирования и своевременного предупреждения предотвращать проблемы до их проявления.
- Повысить производительность на основе пошагового руководства ремонтом.
- Применять системы осмысления и обучения для непрерывной оптимизации использования оборудования.

Система визуального инспектирования базируется на алгоритме машинного обучения и использует большое число шаблонов визуального инспектирования, таких как зоны с загрязнениями/с высоким контрастом, детектирование и верификация геометрии, аномальная текстура, детектирование области, извлечение цветоярких характеристик и их верификация с целью выявления дефектов качества (Примеры: дефект суппорта тормоза, дефект или повреждение, полученное в кузовном цехе или в окрасочном цехе, деформация детали, дефекты запасных частей, повреждение приборной панели автомобиля...).

Возможности пакета IoT for Manufacturing в сфере **визуального инспектирования** интегрируются внутри линии оборудования или роботизированной линии. На этом демонстрационном стенде мы манипулируем несколькими дверными ручками от нового автомобиля **BMW 5 Series**, которые мы инспектируем на предмет производственных дефектов с помощью сервиса Watson Visual Recognition Service.

Затем мы хотим убедиться в том, что робот находится в состоянии высокой **операционной готовности**, то есть его состояние не повлияет отрицательно на производственную линию. Оператор контролирует процессы с помощью Equipment Health Scorecard (карта оценки работоспособности оборудования), при этом оценка работоспособности (Health Score) робота вычисляется с помощью статистической модели предупредительного технического обслуживания.

На последнем шаге этой процедуры техник по обслуживанию через мобильное приложение получает сообщение предупредительного технического обслуживания. Разговор с использованием естественного языка и применение аналитики контента к документации производственного помещения приводит этого техника к правильному решению.

3.3 Иллюстрация на уровне Shop Floor: Сценарий использования приложения Heart Beat Manufacturing

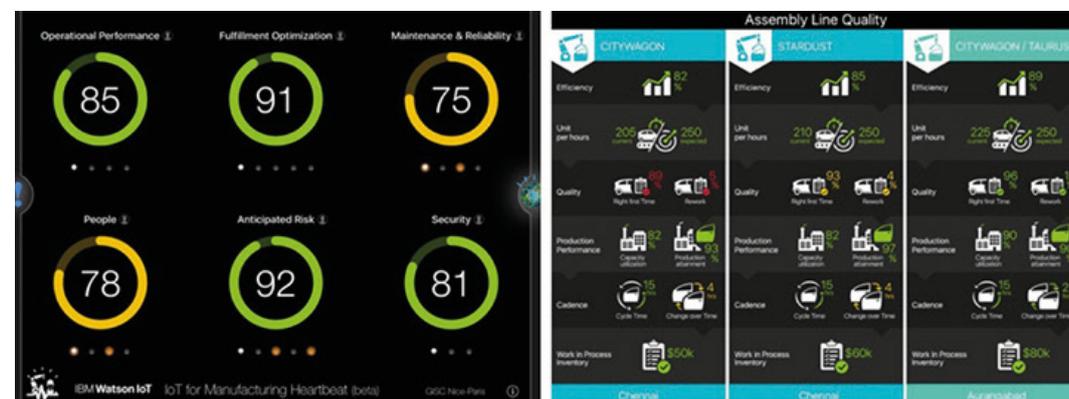
Heartbeat Car Manufacturing – это пример актива и интеллектуальной собственности, созданной для OEM-производителя. Этот актив позволяет осуществлять глобальный мониторинг деятельности по изготовлению автомобиля, распределенной по нескольким заводам. Это приложение базируется на наборе KPI-показателей, которые динамически настраиваются в зависимости от состояния производственного процесса.

Это позволяет управлять заводами-изготовителями, размещенными в нескольких странах, а также отображать оценку риска безопасности, проблемы с исполнением и типичные причины отклонения показателя OEE.

С помощью функции углубленного анализа руководитель производства или главный технолог может проконсультироваться относительно причин отклонения и получить предписания по решению проблем.

Приложение IBM Cognitive Acoustic предоставляется как сервис на платформе Watson IoT Platform. Алгоритмы машинного обучения формируют базу знаний по звукам с целью выявления аномалий. В сочетании с решениями Hardened Mobile Solutions это позволяет использовать возможности данного сервиса в практической деятельности на уровне производственного помещения.

Рисунок 23.
Приложение Connected
Manufacturing Heartbeat



3.4 Иллюстрация на уровне Enterprise: Сценарий использования, связанный с улучшением показателя OEE

В описываемой архитектуре OEE-компонент призван помочь заводу достичь потенциально возможной производительности; приложение позволяет руководителям завода, инженерам завода, инженерам/контролерам по техническому обслуживанию завода, инженерам-технологам и инженерам по качеству получать уникальную, релевантную, прогнозирующую и предписывающую информацию, которая помогает каждому из них на своей должности добиваться стоящих перед заводом целей.

- **Руководитель производства** озабочен тем, чтобы выполнить целевые показатели по объему продукции. Ему необходима наблюдаемость факторов, обуславливающих снижение продуктивности, и возможность оценивать потенциальный эффект последующих операций.
- **Инженеры по техническому обслуживанию** озабочены своевременным выполнением задач технического обслуживания, что позволит заводу функционировать без остановок. Предполагается, что OEE-компонент будет прогнозировать проблемы с машинным оборудованием и на этой основе приоритизировать задачи технического обслуживания и предлагать рекомендации по наилучшему времени для проведения ремонта. Соответственно, это поможет инженерам по техническому обслуживанию выполнять задачи технического обслуживания в надлежащие моменты времени.
- **Инженеры-технологи** отвечают за продуктивность различных процессов, а также за их эффективность и сравнительную вариабельность. OEE-компонент обрабатывает поступающие от различных процессов и машин разнообразные данные (параметры, продолжительности циклов и KPI-показатели) для сравнения и анализа.
- **Инженеры по качеству** занимаются сокращением объемов брака и соответствующих переделок. OEE-компоненты на ранней стадии предупреждают об отклонениях в процессе и о проблемах с качеством, что помогает инженерам по качеству своевременно принимать меры по сокращению объемов брака и переделок.



Руководитель производства

- Наблюдаемость факторов, обуславливающих снижение продуктивности
- Возможность оценивать потенциальный эффект последующих операций
- Улучшение возможностей для исполнения задания по выпуску продукции



Инженер-технолог

- Возможность точного выявления факторов, вызывающих отказы процесса и снижение эффективности
- Понимание влияния факторов, препятствующих достижению требуемых показателей качества и продуктивности



Инженер по техническому обслуживанию

- Быстрое и точное определение вероятных причин, ставящих под угрозу общую эффективность
- Оптимизация расписаний и задач, необходимых для выполнения профилактических или корректирующих действий



Инженер по качеству

- Точная идентификация факторов, вызывающих брак и необходимость переделок
- Улучшение возможностей для исполнения задания по выпуску продукции

Рисунок 24.
OEE: Польза для нескольких категорий персонала

Задействованные должностные лица



Руководитель производства



Выявляет ограничения по достижению показателя OEE

Выявляет потенциальные проблемы в производственном помещении до их реального проявления. Опережает возникновение проблем и предпринимает упреждающие действия.



Инженер/мастер по техническому обслуживанию



Осуществляет переход к предупредительному техническому обслуживанию

Получает сообщения предупредительного технического обслуживания и оптимизирует рекомендации по «наилучшему моменту для проведения ремонта». Стремится снизить простои до нуля благодаря техническому обслуживанию по целевым показателям.



Инженер-технолог



Оптимизирует процессы

Выявляет сбои процесса и проблемы производительности. Анализирует первопричины посредством визуализации ретроспективных данных о процессе и о производительности.



Связывание действий с продуктивностью

Прогнозируемый показатель OEE вычисляется на уровне машины, производственной линии и завода, чтобы связать все действия с повышением операционной эффективности.

Рисунок 25.
OEE: Задействованные должностные лица

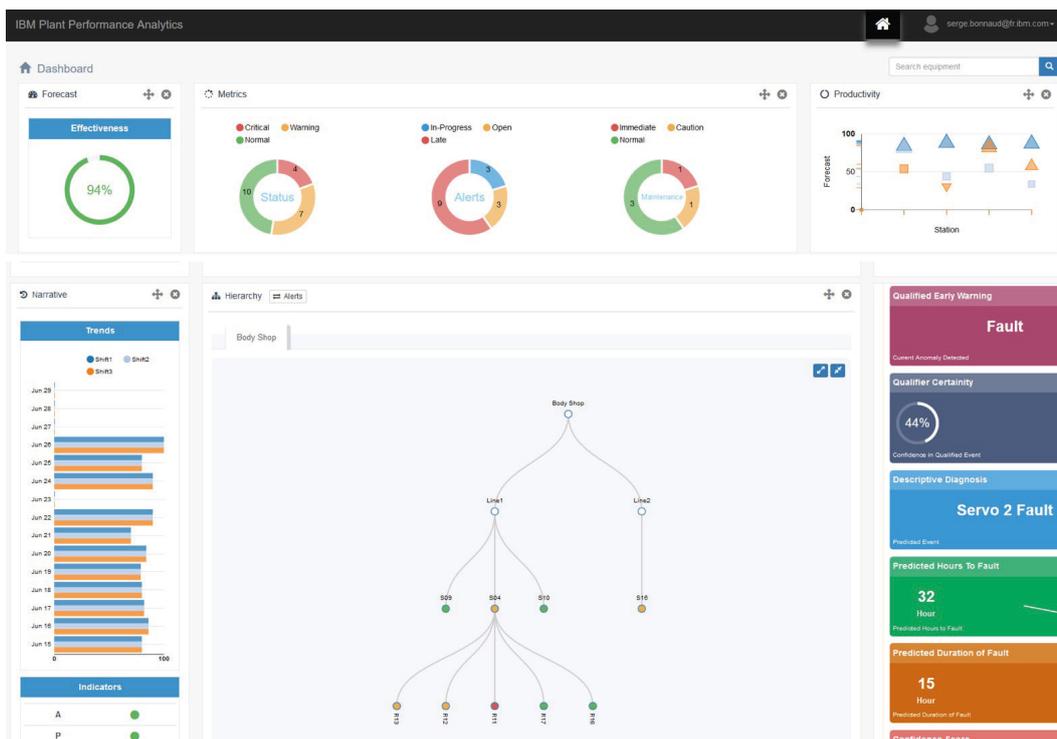


Рисунок 26.
OEE: Инструментальная панель типичного решения

На основе OEE мы можем применять различные стратегии технического обслуживания. Каждая из этих стратегий имеет определенные преимущества, если она применена к надлежащему оборудованию, и, наоборот, генерирует высокие расходы, если применена к неправильно выбранному оборудованию.

- **Реагирующее техническое обслуживание** – Эта стратегия концентрируется на восстановлении уже отказавшего оборудования, или на замене либо ремонте его неисправных деталей и компонентов с целью их приведения в состояние нормальной работоспособности.
- **Профилактическое техническое обслуживание** – Ориентируется на инспектирование (тесты, измерения, регулировки, регистрация износа и замена компонентов) по времени, то есть по истечении определенного количества часов/дней или циклов. Эта стратегия не учитывает реальное использование обслуживаемого актива.
- **Техническое обслуживание по состоянию** – Эта стратегия использует реальное состояние актива и предписывает проводить техническое обслуживание только в том случае, если определенные индикаторы демонстрируют признаки ухудшения производительности или признаки приближения отказа. Сбор данных о состоянии можно осуществлять посредством неинвазивных измерений, посредством визуального инспектирования, посредством данных и посредством тестов, выполняемых по расписанию с определенными интервалами или непрерывно (если соответствующая машина оснащена внутренними датчиками).
- **Предупредительное техническое обслуживание** – Использует продвинутые алгоритмы для выявления шаблонов в характере использования определенного оборудования и среды, в котором оно функционирует, а затем сопоставляет эту информацию с уже известными отказами.

Если предупредительное техническое обслуживание работает эффективно, то техническое обслуживание осуществляется лишь по необходимости, то есть непосредственно перед возникновением потенциального отказа. При принятии решения о применении определенной стратегии технического обслуживания необходимо оценить несколько критериев критичности обслуживаемого актива. В общем случае, чем более значимым некий компонент оборудования является для плавного протекания производственного процесса и для оптимизации расходов на техническое обслуживание, тем высокой является его бизнес-ценность с точки зрения предупредительного технического обслуживания.

Спецификация подхода к техническому обслуживанию должна быть подвергнута повторной оценке после создания релевантной аналитической модели. Результаты анализа помогают установить, какие активы подвергаются избыточному, какие недостаточному, а какие – адекватному техническому обслуживанию.

Оценка аналитической модели для определенного оборудования может дать следующие результаты:

- Не просматривается немедленного выигрыша в случае изменения прогнозируемого показателя для расписания технического обслуживания.
- Модели достаточно точны, чтобы снизить стоимость технического обслуживания и сократить незапланированные простои – использование предупредительных методов для календарного планирования технического обслуживания вполне оправдано.
- Данных недостаточно.

4. Кибербезопасность ИТ/ОТ

4.1 Кибербезопасность ОТ-инфраструктуры

Безопасность Индустрии 4.0 – это развивающаяся тема с точки зрения концепций и решений. Чтобы добиться успеха в этой области, заказчику необходимо объединить усилия двух своих подразделений: подразделения безопасности и подразделения эксплуатации.

Компании, которые уже сегодня решают задачу ОТ-безопасности в индустриальной среде, серьезно выигрывают благодаря своему приобретенному опыту и установленным связям. Кроме того, им будет намного проще обеспечивать безопасность Индустрии 4.0.



IBM входит в состав рабочей группы по безопасности Индустрии 4.0 и разрабатывает следующие концепции.

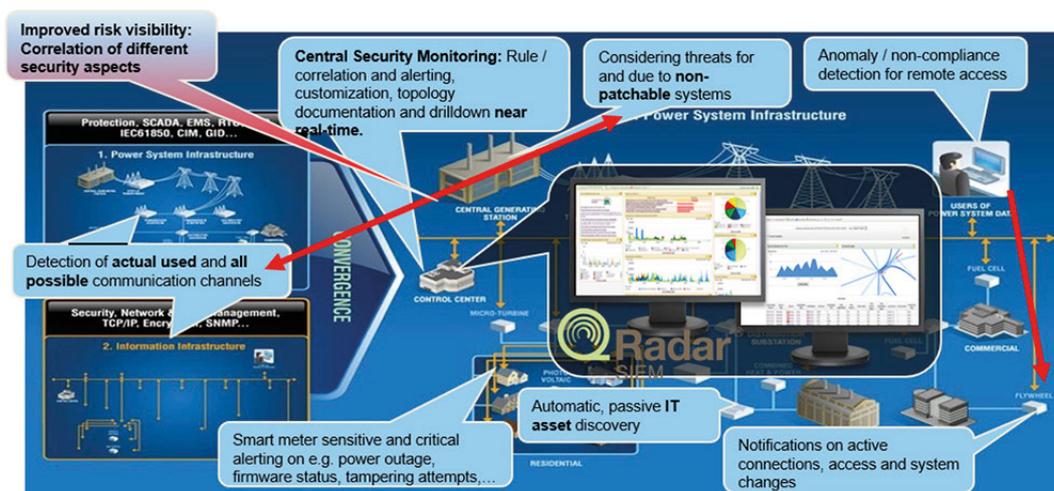


Рисунок 27. Концепция SIEM применительно к ИТ/ОТ

С некоторыми заказчиками мы начали исследовать возможность предоставления сервисов мониторинга специально для ОТ-сред путем интеграции дополняющих технологий (Sentryo, Nozomi...) для сбора событий безопасности в ОТ-сети.

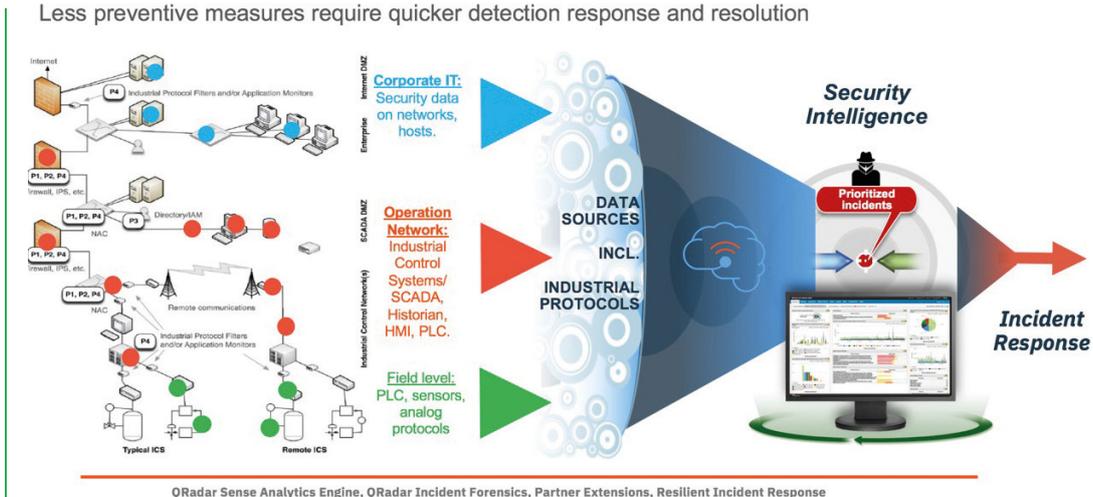
Основополагающая идея состоит в том, чтобы анализировать **SCADA-протоколы** и **ICS-системы (Industrial Controls System)** на предмет аномалий/инцидентов и событий безопасности и поддерживать стандарты DNP3, Modbus, IEC 61850, IEC 60870-5-104, IEC 60870-6 (ICCP), а также широкий ассортимент широко применяемых ICS/IoT-протоколов. IBM поддерживает многие SIEM-инструменты, однако у нас имеется гораздо более глубокая интеграция с собственным SIEM-инструментом IBM под названием QRadar.

Пассивные и неактивные решения для ICS/IoT-мониторинга способны обнаруживать как сетевую деятельность, так и деятельность, связанную с активами. Эти решения способны выдавать предупреждения об аномальной/злонамеренной сетевой активности и об изменениях в конфигурациях устройств. IBM поддерживает партнерские отношения с несколькими поставщиками решений ICS/IoT-безопасности, предлагающих полную интеграцию с инструментом QRadar, что обеспечивает полную наблюдаемость предупреждений, журналов и событий безопасности. Для полноты картины можно сказать, что подход IBM охватывает предупреждения относительно безопасности сети и конечных точек для всех сегментов промышленной сети.

What Comprehensive OT Security should cover

Less preventive measures require quicker detection response and resolution

Рисунок 28.
Инструмент SIEM QRadar
for IT/OT



5. Модель развертывания

Компоненты должны допускать развертывание на уровнях Edge, Shop Floor, Central IT или IBM Cloud. Что касается облака IBM Cloud, мы предлагаем услугу Platform as a Service (PaaS) и инструментальные средства DevOps для построения, исполнения и применения приложений «поверх» платформы IBM IoT Platform. Благодаря построению на базе Cloud Foundry и технологии с открытым исходным кодом Docker разработчики **получают** место для быстрого создания, развертывания и применения приложений в облаке, при этом им не нужно иметь дела с обеспечивающей инфраструктурой. При возникновении любого события потребуется определить уровень **Cloud Hybridation** в зависимости от предъявляемых функциональных и нефункциональных требований. Физическое развертывание архитектуры – это всегда компромисс между расходами (хранилище, объем, SLA) и функциональностью.

IBM обеспечивает очень высокую гибкость в смысле моделей облачного развертывания, поскольку мы задействуем ключевые инфраструктурные технологии, признанные рынком. В дополнение к компонентам, устанавливаемым на границе или в производственном помещении (On-premise), наша облачная стратегия задействует технологии **Open Shift, Docker и Kubernetes** для обеспечения развертывания компонентов заказчика и компонентов IBM в любом месте (а не только в облаке IBM Cloud). ICP (частное облако IBM) задействует Docker и Kubernetes, поскольку многие наши заказчики ориентируются на подход на основе гибридного облака.

6. Как мы это делаем

6.1 Быстрое начало с помощью методик Design Thinking и Garage Method

IBM Cloud Garage Method – это подход IBM, позволяющий бизнес-специалистам, разработчикам и специалистам по эксплуатации непрерывно проектировать, выпускать и проверять решения на всем протяжении от границы до производственного помещения и до ИТ-центра. Наши методики, архитектуры и инструментарии охватывают весь жизненный цикл продукта, с самого его начала, благодаря получению обратной связи от пользователей и реагированию на нее.

Adopt the Garage Method

Deliver innovative ideas to customers faster and beat the competition. As you transform your business, use the Garage Method to learn how to achieve your business goals and quickly deliver repeatable, innovative solutions with quality.



Architecture center

Cloud architectures provide specific technology, practice, and tool choices to build and deploy world-class enterprise applications.



Garage Method practices

Combine industry practices including IBM Design Thinking, Lean Startup, agile development, and continuous delivery to build innovative solutions.



DevOps toolchains

Combine IBM Cloud services with open source and third-party tools to enable your team as you adopt Garage methodology.



Courses and tutorials

Learn concepts of the Garage Method and test your knowledge.

Рисунок 29.
Сервисы и активы
Garage Method

Методика **IBM Cloud Garage Method** была успешно применена во многих цифровых преобразованиях производства путем комбинирования таких активов как отраслевые стандарты, выделенная аналитика в производственном пространстве, сервисы доставки и подход Design Thinking. Методика **IBM Cloud Garage Method** хорошо подходит для быстрого получения первого подтверждения концепции.

6.2 Создание опытного образца или первого MVP-продукта (Minimum Viable Product – минимально жизнеспособный продукт)

В любом случае первый минимально жизнеспособный продукт или опытный образец должен соответствовать наиболее приоритетным сценариям использования и результатам мероприятий по оценке готовности данных (рассмотрение ИТ/ОТ-стратегии, оценка источников данных, проблемы безопасности).

Любой MVP-продукт должен опираться на прочную архитектурную основу. Чтобы достичь этой цели, корпорация IBM рекомендует **применять восходящий подход** к установке и развертыванию фрагментов промежуточного программного обеспечения на уровне Shop Floor и на уровне Edge Analytics до начала развертывания любых сценариев использования. Этот шаг необходимо рассматривать как обязательный.

Необходимо сохранять динамичность этого подхода путем задействования инкрементного и итеративного процесса. Весьма вероятно, что он будет начинаться с таких сценариев использования, как Production Visualization (Визуализация производства), Data Modelling (Моделирование данных) или Third-Party integration (Интеграция продукта сторонних поставщиков). Мы помогаем нашим клиентам упорядочить сценарии использования в виде план-графика и масштабного плана реализации проекта. Для реализации минимально жизнеспособного продукта или опытного образца IBM предлагает своим заказчикам воспользоваться нашей методикой **MVP Product Method**.

Методика Minimum viable product method – Обзор

Методика IBM MVP Method спроектирована в виде итеративного подхода к идентификации, валидации и извлечению бизнес-ценности, реализованного сверху вниз и снизу вверх.

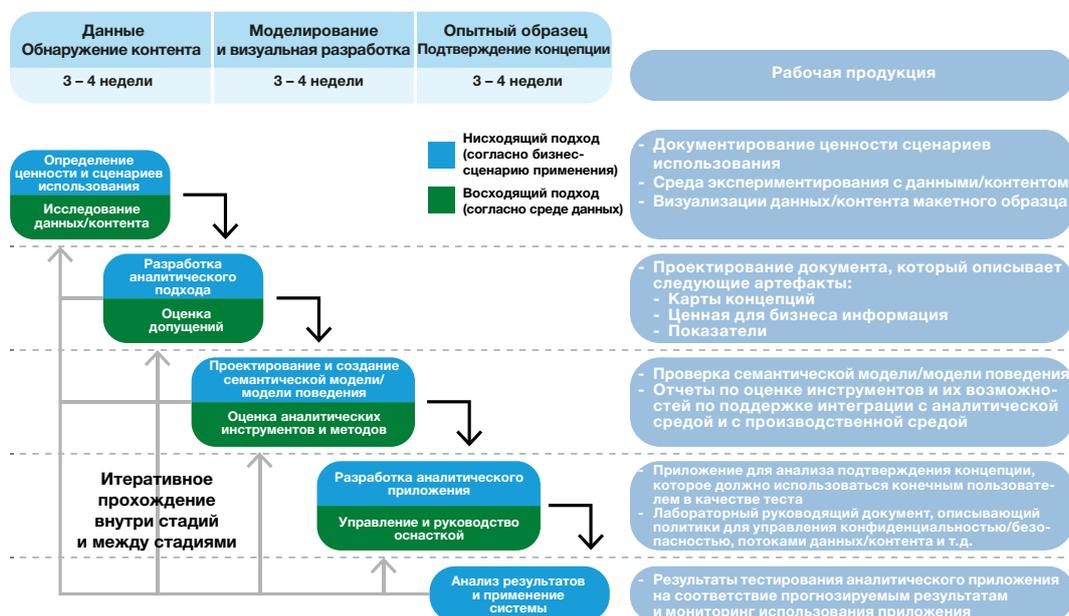


Рисунок 30.
Методика MVP Method
– Обзор

Примечание. Оценка проекта базируется на сложности данных и модели

После того, как нужные фрагменты промежуточного программного обеспечения будут развернуты вместе с первым MVP-продуктом, необходимо проанализировать каждый сценарий использования и оценить сложность преобразований потока данных с точки зрения проектирования, природу алгоритмов моделирования и сложность создания инструментальной панели.

Чтобы ускорить вышеуказанные мероприятия, IBM предлагает воспользоваться промышленными приложениями из состава Watson IoT for Manufacturing Suite и оценить уровень охвата этих приложений IBM применительно к сценариям использования, подлежащим реализации.

При создании первого MVP-продукта необходимо также провести анализ нефункциональных требований, чтобы как можно быстрее сформировать план разработки. Этот анализ имеет очень большое значение, поскольку он обеспечивает процесс принятия решений по различным сценариям развертывания на уровнях Edge, Plant и Central/Cloud.

В этой связи нам необходимо рассмотреть следующие аспекты:

- Уровень устойчивости архитектуры с высокой степенью готовности.
- Стандарты безопасности, требуемые для подключенного производственного помещения
- Выбор локальной аналитики завод/производство с низкой задержкой на уровне завода или центра с более мощными возможностями (озеро данных).

6.3 Проектирование плана развития: Проектный подход к развертыванию

Предполагается, что после реализации и предъявления первого MVP-продукта основы архитектурного ядра уже будут на месте, включая оценку масштабируемости и оценку управления производительностью. Основные архитектурные решения должны быть проверены и задокументированы.

В этой связи IBM считает, что сценарии использования Production Visualization, Data Modelling и Third-Party integrations являются ключевыми входами для реализации архитектуры в процессе создания первого MVP-продукта.

С точки зрения конечного пользователя минимально необходимый набор функций должен обеспечивать следующие возможности:

- **Мониторинг** работоспособности оборудования и систем.
- **Визуализация** данных и предупреждение операторов.

С точки зрения решения должны обеспечиваться следующие возможности:

- Получение данных хорошего качества на выходных устройствах.
- Наличие надежных датчиков и мощных граничных возможностей в плане производительности.
- Уверенность в том, что потоки проходят по шине Plant Service Bus.
- Представление минимального набора стандартизированных интерфейсов между уровнями Edge, Plant и Central IT.
- Идеальное функционирование благодаря подходу на основе исполняемого шаблона для ускорения развертывания.

После этого на последующих этапах можно развернуть другие сценарии использования. Ниже показан пример Перспективного плана и Проектного подхода.

Перспективный план:

Иллюстративный проектный подход к развертыванию



Рисунок 31. Промышленный проектный подход

6.4 Исследования и инновации: Ориентированное на пользователя проектирование и DevOps Factory

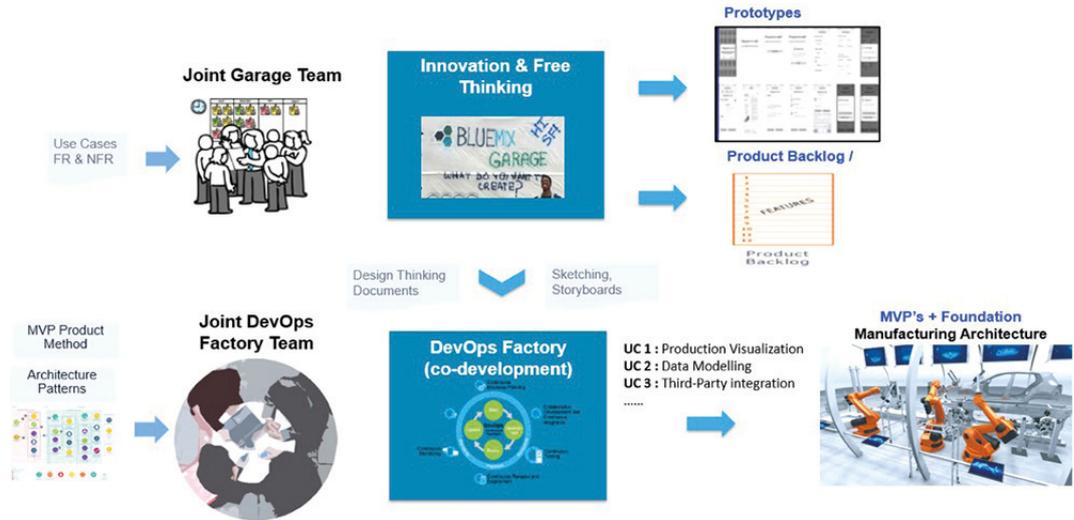


Рисунок 32.
Объединение групп Joint
Garage Team и Joint DevOps
Factory Team

При проведении семинара Garage формируются артефакты типа User Story и Prototype. Garage обычно состоит из трех компонентов: **Methodology (методики)**, **Designers (дизайнеры)** и **Facilities (средства)**.



Рисунок 33.
Объединение групп Joint
Garage Team и Joint DevOps
Factory Team

The Garage includes 3 components:

- ▶ **Specific facility** (location to determine) area to effectively execute Design Thinking Workshops and Prototype related sprints.
- ▶ **Experienced Engineers and Designers, user experience experts** that discuss with subject matter experts to develop the respective user stories and prototypes
- ▶ **Design Thinking methodology** to effectively define User Stories, Personae's, Services, Use Cases & prototypes.

The garage will be used from different project teams and specialists to fill the product backlog for brainstorming, thinking and development.

6.5 Архитектурный центр IBM

Чтобы ускорить **детальную проработку и проектирование архитектуры**, IBM предлагает воспользоваться специальным активом, относящимся к категории «Интеллектуальная собственность IBM».

Ресурс IBM Architecture Center содержит описания базовых шаблонов, а реализации предоставляют конкретные технологии, практические методики и инструментарии для построения и развертывания этих шаблонов.

www.ibm.com/cloud/garage/architectures

Эталонная архитектура – это шаблон решения, в котором используется набор методик, сервисов и инструментов. Эталонные архитектуры задействуют сценарии использования от заказчика и базируются на открытых отраслевых стандартах. Реализации показывают, как расширить, построить, и развернуть и применить образцы программного кода путем использования предлагаемых сервисов и инструментов.

На следующем рисунке показан **архитектурный шаблон IBM Industrie 4.0**.

www.ibm.com/cloud/garage/architectures/iotArchitecture/industrie_40

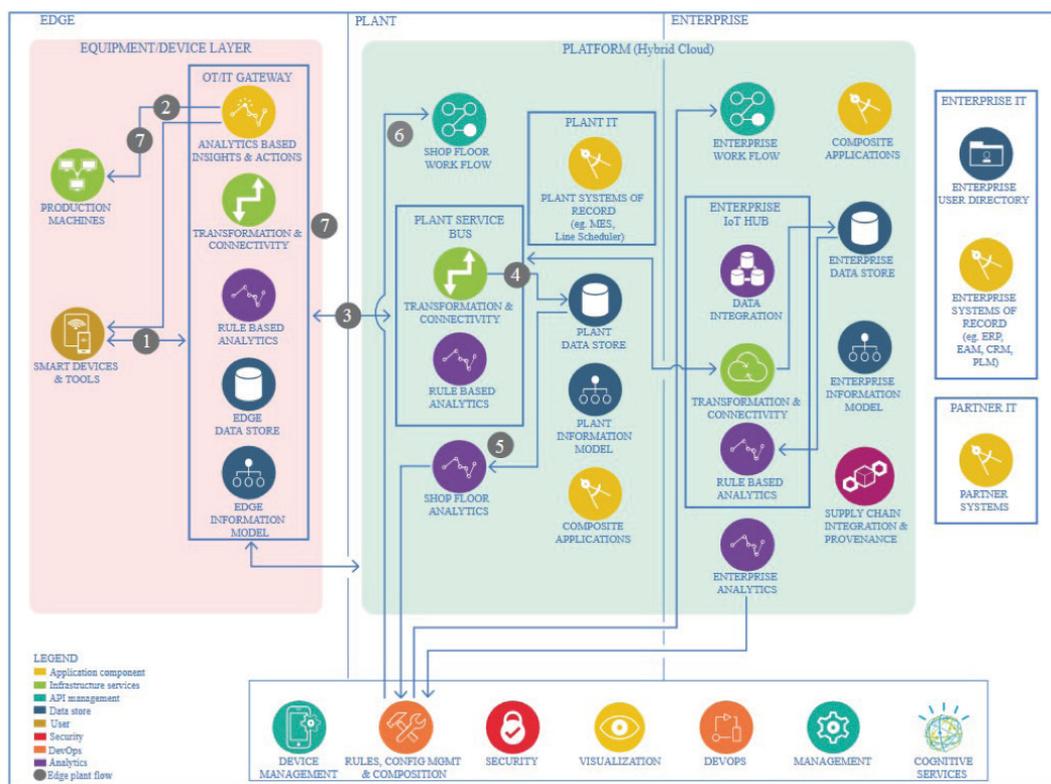


Рисунок 34. Архитектурный шаблон Industrie 4.0

Пример внедрения: Преобразование уровня Shop Floor в гипотетической компании

Гипотетическая компания под названием **Smart ManDevFactory** приняла программу, призванную реализовать преимущества цифрового преобразования с целью повышения производительности и эффективности производства путем использования набора революционных технологий, таких как Большие данные, Аналитика и Когнитивные методы.

Эта инициатива реализуется посредством создания программы нового предприятия под названием Digital Factory Industry 4.0. Основная цель этого преобразования на производственном уровне состоит в выборе главного поставщика, который сможет поддержать каждый шаг перспективного плана в международном масштабе.

Компания Smart ManDevFactory желает гармонизировать процессы и типовые методики, защитить бизнес-деятельность и сделать самые инновационные технологии взаимными для своих производственных подразделений в разных странах мира.

Чтобы быстро и динамично приступить к выполнению проекта, корпорация IBM вместе с компанией Smart ManDevFactory провела семинар Design Thinking. Сессии этого семинара были призваны ознакомить сотрудников Smart ManDevFactory с новейшими тенденциями рынка в сфере аналитических и когнитивных решений, в том числе с перспективами и с новейшими достижениями IBM.

Было представлено несколько решений (рассматриваемых в данном документе), охватывающих отрасль компании Smart ManDevFactory, а также смежные отрасли, которые можно было побудить к участию. После этих сессий были проведены интерактивные занятия, направленные на выявление проблем компании Smart ManDevFactory. При этом был использован персональный подход и специально подобранные мероприятия из ассортимента IBM Design Thinking.

Рисунок 35.
Пространство/
Design Thinking



Чтобы быстро получить наглядные и оцениваемые количественно бизнес-результаты, компания Smart ManDevFactory решила запустить три MVP-проекта (Minimum Viable Product), извлеченных из списка цифровых возможностей для shop floor, выявленных на корпоративном уровне.

Эти проекты представляют собой типичные сценарии использования, которые компания ManDevFactory хотела бы реализовать с помощью унифицированного IIoT-решения (Industrial IoT – Промышленный Интернет вещей).

Компания **Smart ManDevFactory** предполагала получить техническое предложение, базирующееся на уникальной платформе, которое было бы способно охватить нынешние и будущие сценарии использования и обслуживать потребности производственного помещения с возможностью установки локального связующего ПО.

Запрос компании Smart ManDevFactory состоял не только в добавлении нового инструментария в ИТ-среду ее производственного помещения, но и в желании иметь бесперебойное и простое решение, интегрированное в имеющуюся у компании Smart ManDevFactory ИТ-среду, включая средства автоматизации заводов компании Smart ManDevFactory и ее MES-систему (Manufacturing Execution System), подобную Delmia Apriso, и ее ERP-систему (Enterprise Resource Planning), подобную SAP.

Соответственно, IBM предлагает решение на базе трех уровней: **Edge (Shop floor), Plant и Enterprise.**

1. Уровень Edge (Shop floor)

Это наиболее «физическая» часть фабрики, где операторы, рабочие и техники осуществляют мероприятия, связанные с выпуском продукции. Для инновационных проектов необходимо создать связь между ОТ (операционные технологии) и ИТ (информационные технологии). Промышленные шлюзы (или Scada-системы) свяжут два мира - промышленные протоколы (Modbus, ProfiNet, ...) и ИТ-стандарты (MQTT/JSON, REST API...), что позволит получать большую часть информации в реальном времени от PLC-контроллеров, управляющих машинами. Первый уровень преобразования, фильтрации и аналитики может быть реализован на уровне Edge, где можно продвинуть деятельность максимально близко к источнику.

2. Уровень Plant

Внутри каждого завода (Plant) имеется сервисная шина (**Plant Service Bus**) для оркестровки локальных мероприятий и для связывания с физической средой посредством IIoT-шлюзов или Scada-коммуникаций. Таким образом, PSB видит обе стороны (ОТ и ИТ), обогащая информацию с помощью локальных приложений, MES-системы или любых других приложений, вовлеченных в производственный процесс.

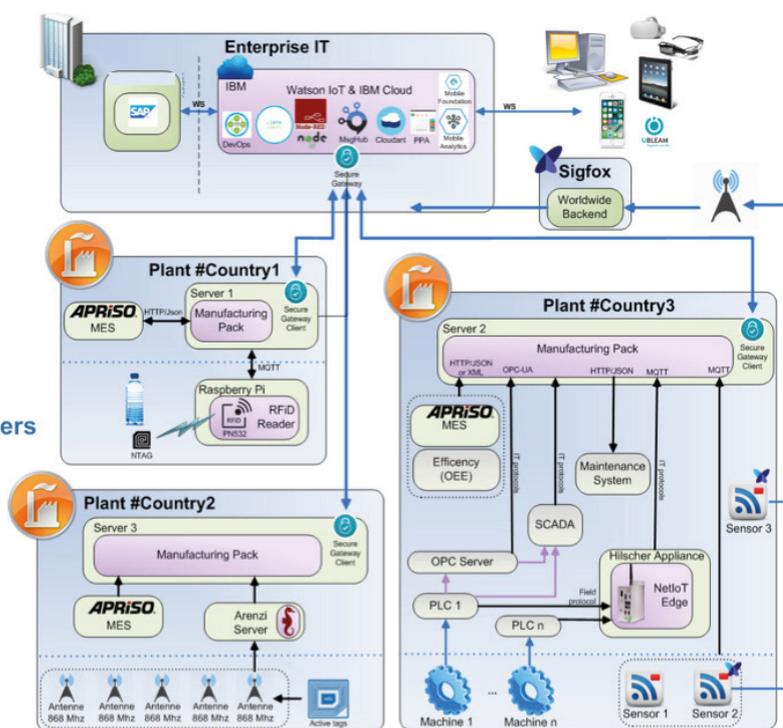
3. Уровень Enterprise

IBM Watson Plant Performance Analytics – модуль из состава пакета Watson IoT For Manufacturing, предназначенный для анализа всей информации, предоставляемой находящимися ниже уровнями. Этот модуль предоставляет хранилище информации для визуализации и аналитики. Поскольку данный проект не ограничивается лишь ИТ-технологиями, корпорация IBM дополнительно выбрала трех партнеров, чтобы получить всеобъемлющее решение: компания **Hilscher** (Партнер #1) предоставляет полевые промышленные протоколы при посредстве MQTT-шлюза (Modbus, EtherNet/IP, ProfiNet ...); компания **Arenzi** (Партнер #2) развертывает решение реального времени для внутренней локализации с высоким разрешением; компания **UBleam** (Партнер #3) предоставляет продвинутые возможности в сфере меток, которые позволяют сканировать машины и отображать интерактивную информацию в дополненной реальности. В некоторых специфических сценариях использования непосредственно между датчиками и IoT-платформой применяется сеть **Sigfox**.

3 Layers

- Shopfloor
 - Plant
 - Cloud
- Open Standards
 - Secured & Scalable
 - Microservices
 - Extended with Partners

Рисунок 36.
Типовая архитектура
Индустрии 4.0



7.1 Представление сценариев использования

Как уже было сказано в предыдущих разделах, концепция Индустрии 4.0 не ограничивается подключением машинного оборудования к облаку – на самом деле она ориентируется на подключении всей «фабричной деятельности». Данный подход является лишь первым шагом процесса, который концентрируется на продуктах, машинах и людях.

Несомненно, продукт – это цель для завода, и все это понимают. Тем не менее, чтобы изготовить эти продукты, машины должны быть эффективными – необходимо соблюдение таких условий, как надлежащее сырье, надлежащая пропускная способность на выходе, надлежащие температура, давление и т.д. Помимо машин, в процессе участвуют операторы, техники и руководители, которые непрерывно помогают своей организации в ее стремлении к максимальной глобальной эффективности.

Описываемый подход призван «дополнить» возможности всех вовлеченных сторон и тем самым сделать их более эффективными и более продуктивными, снизить количество ошибок, остановок и отказов, улучшить понимание информации.

7.2 Сценарий использования 1: Дополненный продукт

Компания **Smart ManDevFactory** стремится принести больше пользы конечному клиенту и повысить динамичность своих операторов, поэтому она хочет улучшить отслеживаемость на уровне продукта от цепочки поставок до выхода с производственной линии, оптимизировать мероприятия розничной торговли и задействовать опыт клиента.

Цель: Этот сценарий использования создан преимущественно в маркетинговых целях. Он будет использован для валидации технических возможностей решения, включая регистрацию идентификатора продукта, хранение данных и представление конечному клиенту такой информации, как целевая промоакция.

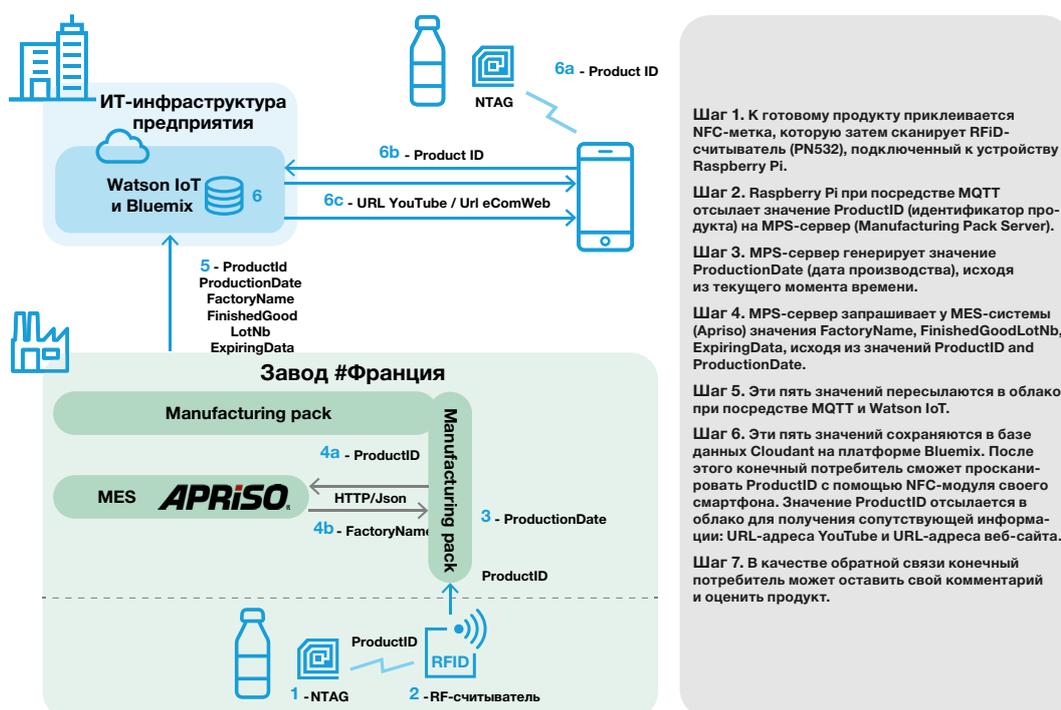


Рисунок 37.
Сценарий использования 1: Дополненный продукт

Очень важно сохранить уникальность идентификатора продукта. Данная схема базируется на уникальности NFC-метки, связанной с продуктом. Корпорация IBM также может продемонстрировать решения на базе QR-кода или штрихового кода.

Три этих альтернативных варианта следует рассмотреть в процессе проведения архитектурной сессии семинара Design Thinking. Такой уникальный идентификатор может соответствовать или отдельному продукту, или всей партии определенного продукта – в зависимости от потребностей бизнеса и от объемов производства.

7.4 Сценарий использования 3: Дополненный оператор

Этот сценарий использования поможет операторам упаковочной линии выполнять задачи перенастройки и замены в соответствии со стандартами охраны окружающей среды/труда/здоровья и стандартами производительности компании Smart ManDevFactory. Основное внимание уделяется процессу перехода операторов от Серии А к Серии В.

При выполнении очистки Серии А, а затем очистки Серии В производится большое количество действий: требования по качеству не позволяют в промежутке между сериями производить какую-либо смесь А и В.

Примеры возможных операций: подключение/отключение труб, очистка, санитарная обработка, замена упаковки.

Все эти операции зависят от того, что производилось ранее, и что будет производиться впоследствии. Данный этап может продолжаться несколько часов. Если показатели работы менее эффективного оператора приблизить к показателям самого быстрого оператора, это окажет огромный положительный эффект на продуктивность всей производственной линии.

Цель: Повысить динамичность при осуществлении коротких производственных циклов и при быстрой замене готовой продукции без ущерба для качества.



- Шаг 1.** С помощью iVleam производится сканирование оборудования с использованием камеры планшета iPad, после чего информация отображается в виде т.н. «Дополненной реальности» Augmented Reality.
- Шаг 2.** Информация (WO, BOM, компоненты, URL-адрес и PDF-файл) извлекается из MES-системы при посредстве веб-сервисов.
- Шаг 3.** Сервер Manufacturing Pack Server предоставляет матрицу перенастройки (Changeover Matrix) и, соответственно, тип операций.
- Шаг 4.** Информация отображается на планшете.
- Шаг 5.** Разница в объеме готовой продукции инициирует реинтеграцию / обращение за запасами.
- Шаг 6.** Чтобы обезопасить транзакцию, штриховой код или iVleam сканируется с помощью камеры планшета. Для валидации осуществимости при посредстве вебсервисов производится проверка с помощью MES-системы (Apriso).
- Шаг 7.** Решение Arenzi в реальном времени предоставляет информацию о местонахождении пользователя внутри помещения (геозона, перемещения, расстояние). С помощью камеры планшета осуществляется регистрация видео и изображений, связанных с перенастройкой.
- Шаг 8.** Экспозиция релевантных данных может осуществляться в формате XLS или PDF.

Рисунок 39.
Сценарий использования 3:
Дополненный оператор

Когнитивный ассистент может сделать этот сценарий использования более эффективным с помощью интерфейса Cognitive API, который предоставляется облаком IBM Cloud в интересах диалога или распознавания изображений. В процессе проведения этапа IBM Design Thinking очень важно выяснить, какое устройство лучше всего подходит для использования операторами на повседневной основе: мобильные телефоны, планшеты, большие экраны или устройства дополненной реальности.

7.5 Другие рассматриваемые сценарии использования

Три вышеописанных сценария использования можно рассматривать как хороших кандидатов для создания MVP-продукта с целью понимания, проверки и валидации подхода «Индустрия 4.0». Это можно сделать быстро, всего за несколько месяцев.

Кроме того, имеется еще несколько подходящих сценариев:

- Дроны для проверки зданий с возможностью распознавания изображений.
- Управление температурой и влажностью здания.
- Эффективность потребления воды.
- Отслеживание подключенных участков на нескольких связанных площадках.
- Когнитивные ассистенты для поддержки специалистов по техническому обслуживанию.
- Углубленное обучение для улучшения понимания рецептов и обработки ошибок.
- Искусственный интеллект для улучшения показателя ОЕЕ в глобальном масштабе.

Многие сценарии использования для цифровой трансформации по типу Индустрия 4.0 можно проверить и реализовать с активным вовлечением людей, которые будут применять их на повседневной основе на производственных предприятиях.

Очень важно, чтобы с самого начала (этап Design Thinking) и вплоть до реализации в процессе проектирования всех элементов участвовали различные специалисты: операторы, техники, руководители, директора, ИТ-специалисты, производственники, консультанты и бизнесмены.

Заключение

Корпорация IBM располагает всеми возможностями, материалами, методиками и функционально/техническими экспертными знаниями, гарантирующими своим промышленным заказчикам успешную реализацию концепции Индустрия 4.0.

Проверенный подход IBM состоит в том, чтобы предложить заказчику долгосрочное стратегическое партнерство, в рамках которого IBM и заказчик в течение нескольких последующих лет совместно реализуют проекты, программы и управление операциями.

С точки зрения решения, IBM остается независимой и нейтральной организацией относительно физического оборудования и производственных систем. IBM доказала, что способна помочь отрасли стандартизировать все разнообразие уже развернутых систем, оборудования и поставщиков.

В контексте промышленного рынка IBM способна играть роль стратегического партнера, предоставляющего отрасли ведущие решения и экспертные знания, управляющего сложной экосистемой партнеров и поддерживающего каждый шаг заказчика, как локально, так и в глобальном масштабе.



IBM, логотип IBM, ibm.com являются товарными знаками International Business Machines Corporation, зарегистрированными во многих странах мира. Полный список товарных знаков, зарегистрированных IBM на настоящий момент, представлен по адресу ibm.com/trademark.

© 2019 IBM Corporation. Все права защищены.