

Ю.С. Андреев, С.Д. Третьяков

ПРОМЫШЛЕННЫЙ ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ



Санкт-Петербург
2019

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Ю.С. Андреев, С.Д. Третьяков
ПРОМЫШЛЕННЫЙ ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ ИТМО
по направлению подготовки 15.04.04 Автоматизация технологических
процессов и производств
в качестве учебного пособия для реализации основных профессиональных
образовательных программ высшего образования магистратуры,

 УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург
2019

Андреев Ю.С., Третьяков С.Д., Промышленный интернет вещей – СПб: Университет ИТМО, 2019. – 54 с.

Рецензент(ы):

Медунецкий Виктор Михайлович, доктор технических наук, профессор, профессор (квалификационная категория "ординарный профессор") факультета систем управления и робототехники, Университета ИТМО.

Учебное пособие знакомит обучающихся с основами промышленного интернета вещей, основными направлениями развития современных технологий, которые лежат в основе построения современных платформ промышленного интернета вещей, а также с перспективными разработками в области индустриальных информационных технологий.



Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2019
© Андреев Ю.С., Третьяков С.Д., 2019

Содержание

Введение	4
1. Основы промышленного интернета вещей и производственных киберфизических систем.....	5
2. Индустриальные киберфизические системы.....	11
3. Сферы применения индустриальных киберфизических систем	23
3.1. Интеллектуальные фабрики (Smart Factory).....	23
3.2. Промышленные интеллектуальные данные	25
3.3. Промышленные интеллектуальные сервисы	27
3.4. «Умная» продукция.....	29
3.5. Интеллектуальные данные и интеллектуальные сервисы	30
4. Проектирование индустриальных киберфизических систем	31
4.1. Подходы к разработке и анализу интеллектуальных производственных систем.....	31
4.2. Оперативное планирование и управление интеллектуальным производством.....	44
4.3. Беспроводные системы для промышленной среды	48
4.4. Кибербезопасность для интеллектуальных производственных систем	50
Список литературы	53

Введение

Интернет вещей (IoT) — это информационная сеть физических объектов (датчиков, машин, автомобилей, зданий и других предметов), которая объединяет все эти объекты и позволяет им взаимодействовать друг с другом для достижения общих целей. Область применения интернета вещей включают в себя, среди прочего, транспорт, здравоохранение, умные дома и производственную среду. В последнем случае обычно используется термин «промышленный Интернет вещей» (IIoT) или просто «промышленный Интернет вещей». В данном учебном пособии мы будем использовать IIoT в качестве синонима Индустрии 4.0 или оригинального немецкого термина «Индустрия 4.0». Различия между терминами или инициативами касаются в основном заинтересованных сторон, географической направленности и представительства той или иной корпорации в конкретной области промышленного производства. Кроме того, IIoT семантически описывает технологическое движение, в то время как Индустрия 4.0 связана больше с ожидаемым экономическим эффектом. То есть, можно сказать, что IIoT ведет к Индустрии 4.0. Но, рассматривая как исследовательские, так и инновационные проекты, трудно найти какую-либо технологию, на которую претендует только одна из множества технологических инициатив. Однако для названия мы будем использовать именно промышленный интернет вещей (IIoT), потому что он подчеркивает идею сетей, которая является краеугольным камнем многих публикаций по данной теме.

В 2015 году интернет вещей был объявлен одной из самых «модных» технологий. Его промышленное применение, то есть IIoT, было даже в центре внимания Всемирного экономического форума 2016 года под лозунгом «Освоение четвертой промышленной революции». Но существует и критическое восприятие применения интернета вещей в промышленном производстве. Многие исследователи утверждают, что ожидаемый рост производительности в результате оцифровки невелик по сравнению с предыдущими промышленными революциями.

В свете этих критических голосов еще более важно проанализировать, где можно получить реальную ценность от промышленного интернета вещей с точки зрения времени, гибкости, надежности, стоимости и качества. Поэтому в данном пособии представлены некоторые материалы, посвященные конкретным производственным приложениям и вариантам их использования.

Пособие предназначено для обеспечения усвоения студентами учебного материала по дисциплинам «Промышленный интернет вещей» и «Новые производственные технологии» по направлениям подготовки 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» и 12.04.01 «Приборостроение». Пособие может быть использовано при самостоятельной работе студентов над теоретическим лекционным материалом.

1. Основы промышленного интернета вещей и производственных киберфизических систем

Промышленный интернет вещей вырос из множества технологий и их взаимосвязей. В сфере производства первые попытки создать сеть «вещей» датируются 1970-ми годами и были обобщены термином «компьютерно-интегрированное производство» (СІМ). Хотя идеям СІМ сейчас около 40 лет, большинство задач по-прежнему актуальны и сегодня, например, интеграция управленческих и инженерных процессов и реализация гибкой и высокоавтоматизированной автоматизации.

Однако в 1990-х годах, с ростом популярности такого явления, как бережливое производство, чрезмерные ИТ-решения все чаще считались неэффективными, а многие проекты СІМ - неудачными. В ретроспективе ранние разочарования могут быть связаны с тем, что технологии и люди не были готовы к успешной реализации идей. К факторам, которые не позволили реализовать идеи СІМ, можно отнести следующие моменты:

- Недостаточная ИТ-инфраструктура и инфраструктура связи;
- Недостаточная вычислительная мощность;
- Недостаточная емкость хранения данных;
- Ограниченные возможности подключения и скорость передачи данных;
- Отсутствие открытости программных инструментов и форматов для обмена данными.

Более того, движение СІМ достигло своего апогея перед большим прорывом в Интернете между серединой 1990-х и первыми годами нового тысячелетия. Сейчас трудно представить мир без Интернета, однако в 1980-х годах было трудно передать идею повсеместного подключения. В ретроспективе было практически невозможно осуществить обмен информацией в глобальном масштабе на фабрике в то время, когда остальной мир в основном не имел цифровой связи.

В то время как СІМ фокусировался на решениях для цехов, Управление данными о продуктах (PDM) было разработано как новый подход к проектированию сетей внутри инженерных отделов, связывающих данные о продуктах и людских ресурсах. В отличие от СІМ, технологии PDM казались менее технологически прорывными, но их возникновение стало возможным из-за достижения пределов обработки больших объемов данных о продуктах с помощью простых файловых систем. Такие функции, как конфигурация продукта, рабочие процессы, изменения или авторизация, в настоящее время незаменимы для инженерных подразделений на крупных предприятиях и приобретают все большее значение для средних компаний. С помощью технологий «Управления жизненным циклом изделия» (PLM) идея сети начинает

бурно развиваться, рассматривая согласованное управление данными как цель для всего жизненного цикла. В этом контексте PDM обычно рассматривается как основа PLM, обеспечивая интерфейсы для различных приложений в течение всего жизненного цикла, таких как производство и обслуживание. Следовательно, PDM и PLM также являются необходимым условием для IIoT: промышленные «вещи» требуют данных о продукте в качестве основы для содержательной коммуникации, например, для сравнения данных измерений с первоначально указанными требованиями, связанными с продуктом.

С точки зрения планирования и эксплуатации предприятия цифровая фабрика стремится интегрировать данные, модели, процессы и программные инструменты. Таким образом, цифровая фабрика представляет собой комплексную модель реальной фабрики, которую можно использовать для связи, моделирования и оптимизации в течение жизненного цикла. Программные продукты в области цифровой фабрики обычно поставляются с различными модулями, обеспечивающими такие функции, как моделирование потока материалов, программирование роботов и виртуальный ввод в эксплуатацию. В контексте IIoT цифровая фабрика может рассматриваться как дополнение к PLM. В то время как PLM стремится интегрировать данные в течение жизненного цикла продукта, цифровая фабрика включает в себя данные производственных ресурсов и процессов.

Для IIoT необходимы обе модели - модели изделия и модели производства (Рис. 1.)



Рисунок 1. Промышленный интернет вещей как сеть, состоящая из реальных объектов и их цифровых двойников.

В то время как PLM и цифровая фабрика несомненно вносят ощутимый вклад в развитие ИИТ, многие идеи проектирования аппаратного обеспечения для ИИТ берутся из мехатроники и киберфизических систем (CPS). Мехатроника обычно определяется как дисциплина, которая объединяет механику, электронику и информационные технологии. Как показывает термин «мехатроника» в первом слоге, дисциплину можно рассматривать как расширение механики, и многие заинтересованные стороны имеют опыт работы в области машиностроения. В тоже время название “киберфизическая система” было введено в обиход исследователями из области компьютерных наук и программного обеспечения. Например, НАСА определяет CPS как «появляющийся класс физических систем, которые могут демонстрировать сложные модели поведения благодаря встроенному программному обеспечению». Аналогичное определение используется в дорожной карте проекта CyPhERS: «CPS состоит из вычислительных, коммуникационных и управляющих компонентов в сочетании с физическими процессами различной природы, например, механическими, электрическими и химическими». Последнее определение также может быть связано с мехатронными системами, и даже термины «мехатроника» и CPS часто используются взаимозаменяемо, особенно в областях автоматизации и транспорта. Однако с традиционной точки зрения «мехатроника» подразумевает, что в фокусе находится физическая система с повышением квалификации программного обеспечения, тогда как определение киберфизических систем скорее указывает на то, что большая её часть основана на программном обеспечении и что аппаратная часть представляет собой особую проблему для разработки программного обеспечения из-за пространственно-временного взаимодействия с физической средой. Кроме того, CPS характеризуется связью между подсистемами, которые не обязательно являются частью мехатроники.

В этом контексте CPS можно охарактеризовать как сетевую систему, и обычно значение сети неявно включено в термин CPS, например по определению типа: CPS включает «встроенные компьютеры и сети, которые осуществляют мониторинг и контроль физических процессов». Продолжая идею сети, CPS можно рассматривать как «средство поддержки ИИТ», где ИИТ подразумевает, что подсистемы подключены к сети Интернет и, следовательно, являются частью открытой системы с огромным количеством узлов.

В контексте производства Cyber Manufacturing Systems (CMS) и ИИТ соответствуют промышленные аналоги CPS и ИИТ. CMS или киберфизические производственные системы (CPPS) являются передовыми мехатронными производственными системами, которые обретают интеллект благодаря подключению к ИИТ. Следовательно, CMS нельзя рассматривать без ИИТ и наоборот. Как правило, когда упомянуто одно понятие, другое понятие неявно включено сюда же.

В целом, CMS и IoT не являются отдельными технологиями с закрытой теоретической парадигмой, а, скорее, представляют собой междисциплинарную смесь из областей производства, информатики, мехатроники, коммуникационных технологий и эргономики. Однако применение некоторых общих теорий можно найти во всех дисциплинах, так или иначе связанных с этими системами. Теория систем и кибернетика могут рассматриваться как обобщающие подходы для описания взаимодействия между разными людьми и вещами, направленные на создание кибернетических обратных связей, которые приводят к самооптимизации и надежности поведения систем. Такой подход к построению моделей позволяет предсказать и оптимизировать поведение и помогает моделировать динамику системы.

В настоящее время большинство исследователей сходятся во мнении, что IoT и CMS продвигаются в таких инициативах, как Индустрия 4.0 и будут иметь большое экономическое влияние. Например, один из недавних опросов показал, что будущие глобальные затраты и эффективность от внедрения парадигмы Индустрии 4.0 превысит 400 млрд. долларов США в год. Страны с развитой промышленным производством, такие как Германия, где промышленность имеет 30% ВВП и где занято 25% рабочей силы, сталкиваются с проблемой дигитализации производства, поскольку успешное преобразование в IoT и CMS, вероятно, определит будущие экономические успехи всей экономики. Эти преобразования особенно важны для сектора производства машин и оборудования, так как эти сектора производства являются вспомогательным фактором для других отраслей промышленного производства.

Переход к Индустрии 4.0, конечно, не самоцель, но он должен привести к большей эффективности использования ресурсов, сокращению времени выхода на рынок, более низкой стоимости конечной продукции и появлению новых услуг. Более конкретно, приложения и потенциальные преимущества включают в себя:

- Интеллектуальную автоматизацию, позволяющую уменьшать серийность производства, так как перепрограммирование и ввод в эксплуатацию осуществляются в режиме реального времени;
- Производство с высоким разрешением, которое улучшает предсказуемость и прозрачность затрат;
- Интеллектуальное планирование производства, которое улучшает соблюдение сроков поставки и снижает затраты и время изготовления продукции;
- Прогнозируемое обслуживание и автоматическое обнаружение неисправностей, что приводит к повышению общей эффективности оборудования и снижению затрат на техническое обслуживание;
- Интеллектуальное управление процессом, направленное на отсутствие отходов, низкие затраты на инструмент, минимальное потребление ресурсов и короткое время приработки и производства;

- Реконфигурируемость, обеспечивающая быстрое масштабирование и управление изменениями производственного процесса;
- Человеко-машинное взаимодействие, ведущее к повышению производительности труда и улучшению эргономики;
- Обратная связь от производства до машиностроения, которая улучшает производственные системы следующего поколения;
- Внедрение новых бизнес-моделей.

Хотя CPS и IoT, как правило, имеют широкую область применения, подходы из других областей, таких как здравоохранение, транспорт или энергетики не могут быть задействованы напрямую. Особенности CMS и IoT включают в себя:

- Интеграция с заводов на машины и их компоненты;
- Интеграция жизненного цикла продуктов и производственных ресурсов;
- Гетерогенная производственная инфраструктура от разных поставщиков;
- Внедрение новых систем в системы с уже работающим оборудованием;
- Пространственно-временные отношения между объектами в системе;
- Широкая область производственных технологий.

Как правило, как CMS, так и IoT можно рассматривать как сложные системы систем. Следовательно, существует несколько технологических основ для создания таких систем, что приводит к первому серьезному вызову: выбору подходящей технологической основы и архитектуры. Еще одной серьезной проблемой является спецификация общепринятых, расширяемых инфраструктур или архитектурного шаблона, который должен поддерживать, с одной стороны, различные датчики, исполнительные механизмы и другие аппаратные и программные системы, в то время как, с другой стороны, система должна оставаться управляемой. Такая сетевая система должна иметь не только сенсорные устройства, но также системы управления или планирования, которые предоставляют доступ к корпоративной информации (например, показатели эффективности, такие как общая эффективность оборудования (ОЕЕ) или основная технологическая информация, такая как запас компонентов, деталей и продукции). Для того, чтобы управлять различными системами и обеспечить удовлетворение информационных потребностей, исследователи, а также промышленники ввели несколько псевдостандартизированных архитектурных решений. В области автоматизации, например, хорошо известна пирамида автоматизации или более продвинутая автоматизация - Diabolo, которые представляют такие архитектурные решения. С внедрением CMS и IoT в область автоматизации эти хорошо структурированные и ориентированные на конкретные производственные задачи шаблоны помогают быстро решить возникающие на производстве проблемы. Как показано на рис. 2, классическая автоматизированная пирамида будет постепенно заменена на сетевую, децентрализованно организованные и автоматизированные услуги.

Впоследствии для этих сетевых структур, которые будут требовать новых технологий промышленного проектирования деталей и систем кибер-производства, потребуется мониторинг и контроль физического производства и производственных процессов. Развивающиеся инфраструктуры СМS и ИТ ставят новые задачи в отношении обмена информацией. Прозрачная и адаптивная связь необходима для того, чтобы гарантировать доставку информации в режиме реального времени и обеспечить надежность и другие аспекты качественного обслуживания. Кроме того, такая децентрализованная система требует более высокого уровня автоматизации в отношении самоуправления и поддержания устойчивой работы. Для облегчения вышеупомянутых возможности самоуправления и диагностики должны быть использованы искусственный интеллект и аналитика. Кроме того, огромное количество собираемой информации обеспечит дальнейшие возможности для оптимизации систем.

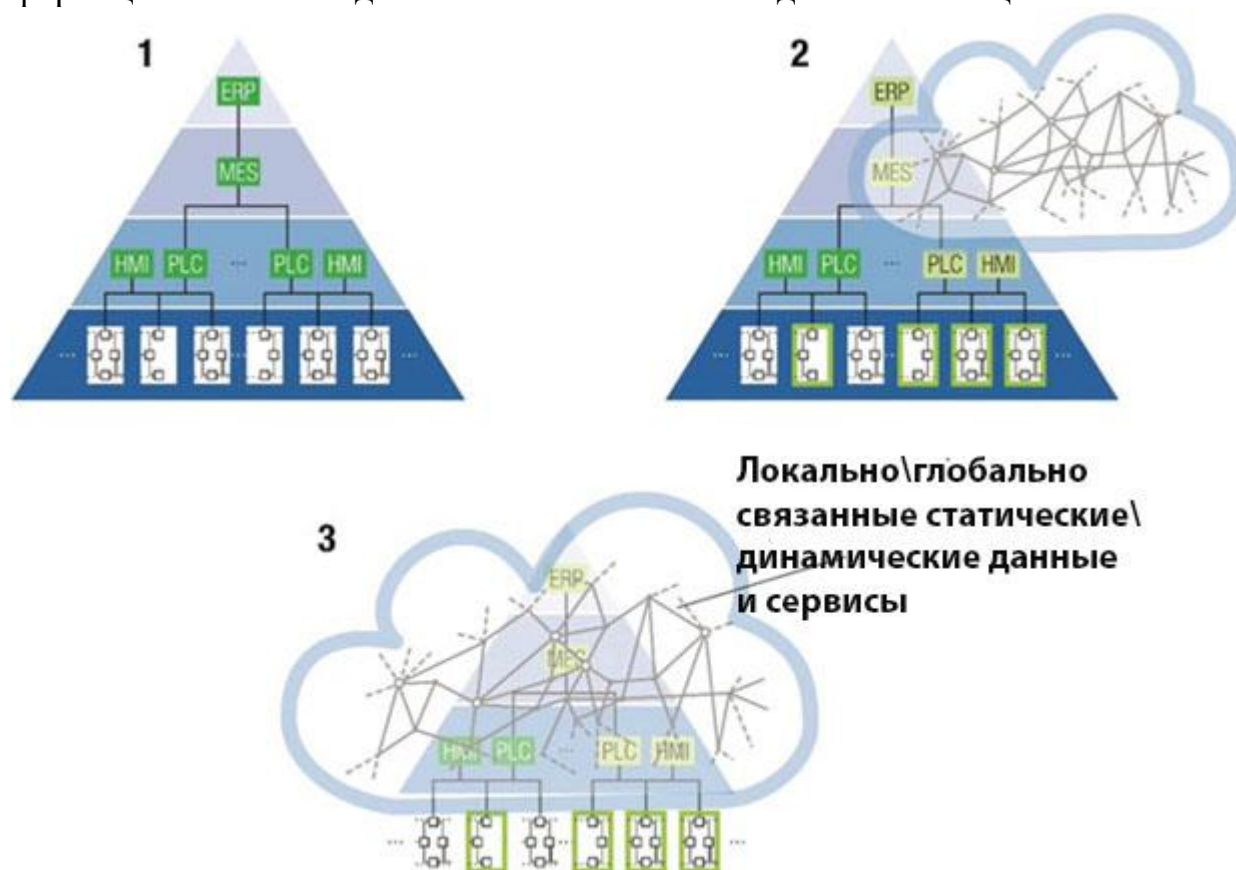


Рис. 2 Замена классической пирамиды автоматизации.

Наконец, человеко-машинные интерфейсы должны быть адаптированы с учетом возрастающей сложности этих систем. Необходимо, чтобы система обеспечивала своевременное и правильное отображение необходимой информации. В противном случае весь объем информации не может быть обработан человеком, и, соответственно, решения могут быть приняты с задержкой.

Вопросы для самопроверки:

1. С чем связаны неудачи внедрения проекта «компьютерно-интегрированного производства»?
2. Что такое цифровая фабрика?
3. Какие производственные модели необходимы для внедрения промышленного интернета вещей в производство?
4. В чём заключаются особенности промышленного интернета вещей?

2. Индустриальные киберфизические системы

С технической точки зрения, киберфизические системы построены на модульной логике встраиваемых систем. Встроенные системы - устройства обработки информации, которые часто образуют миниатюрные компоненты больших компьютерных систем, где каждый компонент имеет конкретное функциональное назначение. В сочетании друг с другом они определяют ценностное предложение всей системы. Популярные примеры встроенных систем включают в себя автомобили, бытовую технику, развлекательную электронику и многое другое. До времен повсеместных вычислений они были автономными устройствами с ограниченной сенсорной технологией и предельной взаимосвязью. Комплексная межсистемная организация и связь, основанная на понимании контекста, и адаптивность, ведущая к самоконфигурации, окружающему интеллекту и проактивному поведению, отсутствовало. Эти характеристики стали реальностью благодаря умным объектам, устройствам, которые имеют определенную идентичность, способность воспринимать внешние физические условия, знать механизмы приведения в действие своих компонентов и способные обрабатывать данные. Для того, чтобы оснастить встраиваемые системы цифровым интеллектом, чтобы расширить их функциональность и, таким образом, сделать их частью киберфизической системы, необходимы определенные улучшения и дополнения.

Первым требованием является установка датчиков, которые позволяют оцифровку физических условий и состояний. Датчики доступны для широкого спектра физических явлений. Вся информация об окружающей среде может быть определена при помощи простых датчиков, которые воспринимают происходящие на объекте процессы и изменения. Каждый датчик следует выбирать в зависимости от желаемой точности описания состояния на основе задач и контекста использования объекта для оснащения. Текущая миниатюризация технических компонентов постоянно расширяет их сферы применения. Данные, собранные датчиками, должны обрабатываться локальным вычислительным блоком «умного» объекта. Децентрализованные вычисления влекут за собой увеличение темпа обработки данных при одновременном снижении пропускной способности внутри сетевой инфраструктуры.

Последующая централизованная оценка данных в форме обработки больших данных позволяет использовать собранные данные для распознавания образов и делать прогнозы, основанные на выявленных закономерностях. Следовательно, в киберфизических системах децентрализованное вычисление оперативных решений в реальном времени дополняется централизованной обработкой данных для разработки стратегических мер.

Кроме того, для внедрения автономных встроенных систем к киберфизическим системам необходимы коммуникационные интерфейсы. В дополнение к уже широко известным интерфейсам, таким как Ethernet и Wi-Fi, применяются такие технологии, как RFID, GPS и NFC, которые позволяют соединять множество объектов в единую сеть. Параллельно с этим происходит внедрение интернет-протокола, например, версия 6 (IPv6). С этим новым протоколом гипотетически возможно связать друг с другом примерно 340 различных объектов через интернет. Интеграция промышленных машин с машинными протоколами связи, такими как OPC Unified Architecture (OPC-UA), обеспечивает совместимость машин разных производителей.

Помимо вышеупомянутых технологических предпосылок, необходимо учитывать и человеческий фактор. Успех внедрения киберфизических систем значительно зависит от восприятия новых технологий пользователями. Взаимодействия между людьми и киберфизическими системами различается в зависимости от типа и функции рассматриваемой системы и осуществляются с использованием человеко-машинных интерфейсов. Эти человеко-машинные интерфейсы имеют много разных форм, например, классический ввод с компьютера или голосовое управление. Особенно актуально использование в качестве устройств управления мобильных устройств, таких как смартфоны и планшеты. Большой потенциал для взаимодействия между пользователями и киберфизическими системами связан с двумя аспектами: во-первых, смартфоны и планшеты стали товаром во многих обществах из-за высокой ценности использования, а во-вторых, мобильное подключение к интернету позволяет использовать систему без привязки к конкретному географическому региону места нахождения. Более того, обладая операционными системами, которые позволяют установку сторонних приложения, смартфоны и планшеты являются идеальной технологической платформой. Таким образом, во многих случаях при проектировании интерфейса человек-машина основное внимание уделяется программному обеспечению, так как аппаратное обеспечение уже доступно в виде мобильных устройств.

Мобильные устройства, особенно носимые (носимые технологии), также способствуют пассивному или бессознательному взаимодействию с киберфизическими системами. Как упоминалось ранее, это не только смартфоны и планшеты, но и умные часы и фитнес-трекеры, которые стали широко используемыми спутниками пользователей в повседневной жизни.

Кроме того, интерфейсы виртуальной реальности также расширяют своё присутствие. При повсеместном использовании вычислительных систем и новых интеллектуальных технологий переносимые устройства обмениваются данными со всей системой в фоновом режиме, незаметно для пользователя. Посылая такие параметры, как местоположение, скорость движения и пункт назначения, такие службы, как навигация на основе трафика или системы умного дома, адаптируются в соответствии с заранее заданными предпочтениями пользователя (например, маршрут путешествия, температура в помещении и т. д.). В профессиональном окружении та же технология может использоваться для контроля безопасности. Сценарии использования для этого – строительство и техническое обслуживание в промышленных условиях. Всякий раз, когда персонал работает в опасной среде и остается в неизменном положении слишком долго, система автоматически предупреждает спасательную команду. Конечно, соблюдение безопасности данных и защита конфиденциальности при этом должны быть на высоком уровне.

Помимо широкого распространения мобильных устройств, знакомство людей с использованием таких технологий как в частном, так и в профессиональном контексте приводит к ожиданию высоких показателей восприятия таких устройств в качестве человеко-машинного интерфейса для киберфизических систем. В целом как техническая архитектура, так и пользовательская интеграция, по-видимому, обеспечивают прочную основу для разработки и реализации киберфизических систем в современном сценарии технологического развития.

Как уже упоминалось ранее, применение киберфизических систем в промышленном контексте предлагает большие возможности, начиная от выгод для каждого человека в процессе создания продукта и заканчивая экономикой в целом. Ожидаемые эффекты включают устойчивый рост ВВП страны, сопровождаемый увеличением индивидуального благосостояния и уровня жизни. Правительственные учреждения во многих странах признали эти весьма многообещающие ожидания и поэтому реализовали финансовые инициативы с целью стимулирования внедрения киберфизических систем в промышленный сектор своих стран. Хотя большинство всемирных общественных инициатив преследуют эту общую цель, они различаются по структуре и структуре реализации, а также по объему финансирования. Яркими примерами являются следующие начинания:

- В Соединенных National Network for Manufacturing продолжает свою инициативу Advanced Manufacturing Partnership 2.0 с целью «использовать новые, часто передовые машины и процессы для создания уникальных продуктов, лучше или даже дешевле. Усовершенствованное производство также облегчает быструю интеграцию улучшений процесса, легко позволяет вносить изменения

в конструкцию, например детали или заменяющие материалы, и преобразуются в рентабельное производство небольших объёмов продукции».

- Немецкая инициатива Industrie 4.0 направлена на укрепление её позиций в секторе машиностроения как лидера мирового рынка. Кроме того, есть необходимость сосредоточиться на разработке норм и стандартов для протоколов связи, а также предоставление конкретных руководящих принципов для SMT по внедрению инновационных технологий.
- Катапульта - High Value Manufacturing, инициатива в Великобритании, которая стремится, помимо прочего, способствовать дальнейшей оцифровке производственных процессов и активизировать промышленное производство, которое сокращается в Великобритании за последние десятилетия устрашающими темпами.
- Китай стремится обновить свою обрабатывающую промышленность с помощью программы Made in China к 2025 году и оставить репутацию «верстака мира» позади. Основная цель - лучшая общая инновационность в сочетании с превосходным качеством выпускаемой продукции. Кроме того, особое внимание уделяется более экологически обоснованному экономическому прогрессу и образованию отечественных специалистов.

Помимо правительственных инициатив, существует множество инициатив и платформ, запускаемых и финансируемых частным сектором - например, базирующийся в США промышленный Интернет-консорциум или Industrial Value Chain Initiative из Японии.

Частое обращение к киберфизическим системам в качестве ключевого компонента внедрения интеллектуальных фабрик в инициативах как развитых, так и стран с развивающейся экономикой еще раз подчеркивают важность этих технологий. Несмотря на все внимание общественности и финансовую поддержку, непонятным остаётся для многих лиц, принимающих решения, как киберфизические системы могут на самом деле приносить пользу для своих компаний на практике.

Анализ интервью и фокус-групп в сочетании с научными исследованиями привели к появлению определённых категорий задач, которые необходимо решить для развития умного производства. Таким образом, прежде чем описывать реальные области применения киберфизических систем, были перечислены основные области производственной инфраструктуры, в которых эксперты предвидят высокий потенциал для улучшения производства. К этим категориям относятся автоматизация, автономизация, взаимодействие человека с машиной, децентрализация, оцифровка для выравнивания процессов, большие

данные, кибербезопасность, управление знаниями и квалификация персонала. Обзор этих категорий для потенциального улучшения приведён в таблице 1.

Таблица 1 Категории потенциальных улучшений для промышленных киберфизических систем

Автоматизация	<ul style="list-style-type: none"> • Интегрированный поток производства • Межмашинная связь (связь M2M) • Plug and Play машинные соединения • Автомобили с автоматическим управлением (AGV)
Автономизация	<ul style="list-style-type: none"> • диспетчерский контроль и сбор данных (SCADA) • Контроль состояния • реконфигурация системы
Человек-машинное взаимодействие	<ul style="list-style-type: none"> • Неограниченное взаимодействие человека с машиной • Роботизированные экзоскелеты • Системы поддержки принятия решений • Ресурсные кабины • Дополненная реальность
Децентрализация	<ul style="list-style-type: none"> • Децентрализованные вычисления в модульных сетях • Комплексная обработка событий
Оцифровка для процесса выравнивания	<ul style="list-style-type: none"> • Оцифровка складирования и логистики • Автоматизированные электронные закупки • Промышленные услуги в области технического обслуживания, ремонта и утилизации (MRO) • Цифровое изображение продуктов • Оцифровка документов
Big data	<ul style="list-style-type: none"> • Распознавание образов • Решения для обработки данных складирования
Кибербезопасность	<ul style="list-style-type: none"> • Решения для кибербезопасности • Проектирование инфраструктур систем безопасности.
Управление знаниями	<ul style="list-style-type: none"> • Систематическая запись, классификация и отображение неявных знаний • Руководства пользователя
Квалификация	<ul style="list-style-type: none"> • Квалификационные концепции • E-learning

Уровень промышленного производства в развитых и развивающихся странах сильно зависит от высокоразвитого производственного процесса в качестве основы для успешного бизнеса. Прогрессивность производственных процессов включает в себя широкое использование различных технологий

обработки и их автоматизированное функционирование. Со временем мотивация для внедрения процессов автоматизации несколько изменилась. Изначально исходя из цели облегчить нагрузку на рабочих, автоматизация вскоре повысила производительность труда благодаря новым процедурам сборки продукции. Тейлоризм в 19-м веке и компьютерно-интегрированное производство (СІМ) в 20-м веке - самые выдающиеся периоды развития автоматизации в прошлом. Киберфизические системы предлагают потенциал для следующего большого шага развития в области автоматизации.

Интегрированный производственный процесс извлекает выгоду из ситуационной осведомленности об интеллектуальных машинах и интеллектуальных производственных материалах. Цифровое изображение продукта, подлежащего сборке, сохраняется на миниатюрном носителе данных, прикрепленном к каждому продукту. Всякий раз, когда готовится производственный этап, машина считывает производственные инструкции из носителя информации и обрабатывает заготовку согласно требованиям технологического процесса. Таким образом, изготавливается первая партия продукта. Для предотвращения неэкономичных размеров партий и неоптимальных циклов переоборудования машинная связь (связь М2М) имеет важное значение в этом контексте. Машины в рамках одной производственной линии обмениваются информацией о незавершенных этапах и целостности оптимизации всей технологической последовательности изготовления серии продукции на основе детерминированных алгоритмов. Кроме того, межмашинная связь является важным связующим звеном для взаимосвязи машин и оборудования. Исходя из технического задания и формата заказа, различные компиляции машин необходимы для выполнения требуемых технологических операций. В статических сборочных линиях это может означать, что некоторые машины не используются, но все еще не доступны для выполнения других задач. В случае взаимодействия машин по принципу Plug and Play, в работу включаются только необходимые для изготовления данной партии продукции машины. Свободные машины могут использоваться для других задач синхронно, а неисправное оборудование можно легко заменить. Основным требованием к такой постоянно меняющейся сети из машин является наличие протоколов связи для разнородного оборудования.

Помимо использования в самом производственном процессе, киберфизические системы предлагают потенциал для улучшения процессов поддержки производства. Автоматическое управление транспортными средствами (AGV) взаимодействует через датчики и исполнительные механизмы с окружающей средой и выполняет такие задачи, как перевозка групп компонентов и рабочих материалов, а также складирование. В полной мере потенциальные преимущества автоматизированных транспортных средств

становятся доступны, когда они интегрированы в ранее упомянутую сеть межмашинного взаимодействия.

Термин «автономизация» тесно связан с автоматизацией, но не является её эквивалентом. Автономизация означает подход к управлению и координации автоматизированных процессов без внешнего (человеческого) вмешательства, но с помощью внутренних механизмов оценки системы. Основанная на алгоритмах самооптимизации, производственная система предвидит критические инциденты и другие события в процессе эксплуатации и оптимизирует поведение решения.

Таким образом, становится возможным новый уровень диспетчерского контроля и сбора данных (SCADA). В отличие от современного подхода, основанного на постоянно доступных данных в реальном времени, будущая SCADA позволяет осуществлять подробный мониторинг состояния и реконфигурацию системы на основе ситуации. Автоматическая отладка в случае серьезных неисправностей является еще одним достижением в этом контексте. Это обеспечивает как положительный экономический эффект, так и повышение безопасности труда: автоматизированное управление размером партии обеспечивает экономически эффективное производство продуктов с индивидуальной настройкой на основе индивидуальных потребностей клиентов. Кроме того, автономные процедуры позволяют сократить количество людей-операторов. Помимо снижения затрат на рабочую силу, что обеспечивает конкурентоспособное производство в странах с высоким уровнем заработной платы, автономное производство может быть воспринято как частичное решение для демографических изменений в западных обществах из-за сокращения рабочей силы. Кроме того, автономизация имеет очевидные последствия для безопасности производственных процессов, особенно на опасных этапах изготовления, а также при обработке компонентов и материалов, содержащих опасные вещества. Отсутствие персонала исключает опасность несчастных случаев на производстве.

Хотя в предыдущем разделе были отмечены определенные преимущества в сокращении персонала, внедрение киберфизических систем не сделает людей заменяемыми в промышленном производстве. Люди все еще превосходят машины в определенных задачах и действиях. В других областях, хотя машины и могут полностью заменить рабочих, однако в большинстве случаев экономический эффект от такой замены будет не очевиден. Следовательно, интеграция пользователей в работу системы необходима для успешного внедрения киберфизических систем, где люди являются частью системы или взаимодействуют с ней.

В то время как сегодня в целом, благодаря правилам безопасности, машины и люди работают физически отдаленно друг от друга, киберфизические системы допускают неограниченное взаимодействие. Оборудование с датчиками, которые сканируют детали машины, регистрируют контакт между машинами и рабочими

в течение миллисекунд и останавливают вредные движения. Системы машинного зрения, отслеживающие положения и перемещения рабочих и машин, являются еще одним методом предотвращения столкновений и мониторинга состояния защитных ограждений. Неограниченное сотрудничество между человеком и машиной позволяет каждой стороне раскрыть свои сильные стороны, что ведет к общей оптимизации. Кроме того, существует высокий потенциал снижения рабочей нагрузки на персонал, где требуется физическая сила. Благодаря носимым вспомогательным системам, таким как роботизированные экзоскелеты, упражнения на подъем и переноску становятся менее утомительными для организма. Роботизированные экзоскелеты оказывают положительное влияние как на производительность, так и на общий срок службы персонала.

Помимо упомянутого прямого сотрудничества и взаимодействия между людьми и машинами при выполнении физических задач, киберфизические системы могут быть основой для сервисных систем. В форме систем поддержки принятия решений пользователи получают необходимые данные и информацию, необходимую для выполнения их работы. При проектировании этих сервисных систем необходимо учитывать несколько вопросов: во-первых, производственные процессы включают персонал с разными позициями в организационной иерархии с различными задачами. Следовательно, для концептуализации этих систем поддержки принятия решений следует использовать всеобъемлющий образец для копирования. Таким образом, каждая роль получает соответствующие права на чтение, запись или права администратора. Это обеспечивает предоставление необходимой информации для выполнения задач, одновременно защищая систему от непреднамеренного входа и выхода критической информации. Во-вторых, необходимо определить правильное количество предлагаемой информации. Из-за обилия данных, собираемых датчиками, подключенными к машине, и другими источниками, нефильТРованная подача этих данных легко приводит к неконтролируемому потоку информации. Поэтому системы поддержки принятия решений должны быть построены на оцененной эталонной архитектуре, объединяющей знания о каждой задаче и ценной информации для ее выполнения. Таким образом, каждая роль снабжается правильной информацией на основе данных в нужное время без необходимости закупки информации в разных системах. В-третьих, составленные таким образом кабины ресурсов не только нуждаются в полезной концепции подачи информации, но и в правильном оборудовании и методах визуализации для оптимального использования. Для идеальной интеграции информационного обеспечения в рабочий процесс очень подходят такие решения, как дополненная реальность. Используя такие аппаратные средства, как очки данных или другие носимые технологии, информация может быть представлена в виде графического перекрытия физической инфраструктуры.

Рабочие данные, рабочие инструкции и локализации ошибок могут быть представлены практически в семантическом контексте с реальными артефактами, такими как машины. Дополнительным преимуществом является то, что дополненная реальность позволяет представлять ранее упомянутую информацию о модулях машин, предлагая виртуальное представление о машине без ее физического открытия.

Производство, согласованное со стандартами СИМ, в основном основано на централизованных иерархически структурированных вычислительных процессах. Это связано с характеристиками аппаратного и программного обеспечения, которые были стандартными при разработке концепции СИМ, а также с преобладающей в настоящее время бизнес-логикой. В то время как в определенных сценариях централизованная обработка данных по-прежнему выгодна (например, анализ больших данных), для актуальных задач в реальном времени, таких как выполнение технологического процесса, децентрализованные вычисления в модульных сетях дают однозначные преимущества. Киберфизические системы тесно связаны с подходом децентрализации. Способствующим фактором является непрерывная миниатюризация технических компонентов наряду с увеличением их вычислительной мощности. Таким образом, обработка сложных событий больше не привязана к централизованным вычислительным блокам, а может выполняться более быстрым способом на основе решений децентрализованных вычислительных сетей.

Оцифровка физических последовательностей производственного процесса на основе датчиков раскрывает весь свой потенциал только как часть полностью оцифрованной фабрики. Следовательно, оцифровка должна поддерживаться не только в основном производственном процессе, но и во всех секторах, поддерживающих производство. Обширная оцифровка складов и логистики на основе систем RFID или NFC позволяет самоорганизующимся производственным сетям включать инвентаризацию в реальном времени в производственную программу. Кроме того, постоянный контроль и инвентаризация поддонов, ящиков, полок, а также производственных материалов, оборудованных датчиками и исполнительными механизмами, позволяют автоматизировать электронные закупки. Это улучшает своевременную доступность деталей и материалов, поставляемых поставщиками, и позволяет более широко использовать производство точно в срок. Таким образом, стратегические партнеры, например субподрядчики, могут быть более глубоко интегрированы в цепочку создания продукта. Это относится не только к поставщикам, но особенно к поставщикам промышленных услуг в области технического обслуживания, ремонта и эксплуатации (MRO). С исчерпывающей информацией и возможностью дистанционного управления несколькими действиями MRO в случае программного или операционного сбоя могут проводиться на расстоянии. В случае физических дефектов обслуживающий персонал технологического

оборудования может быть поддержан экспертами компании-изготовителя станка, которые могут основывать свои рекомендации оперируя данными в реальном времени, полученными через защищенное соединение.

На основании того факта, что в большинстве случаев внедрение киберфизических систем происходит не в форме строительства совершенно новых производственных мощностей с нуля, а как переход с обновлением существующего машинного парка, значение оцифровки и дигитализации играет важную роль. При внедрении новых систем поддержки принятия решений для персонала необходимо, чтобы вся соответствующая информация была доступна через одну систему поддержки принятия решений на одном устройстве. Ситуации, при которых приходится переключаться между несколькими устройствами, воспринимаются пользователем, как правило, негативно.

Дополнительная трудоемкая исследовательская работа, например, для анализа чертежей или работа со справочниками на бумажных системах хранения, приводят только к ухудшению показателей системы поддержки принятия решений. Чтобы противодействовать этому, все соответствующие документы, такие как справочники, чертежи, протоколы и т. д., должны быть оцифрованы. Акт оцифровки документа должен быть завершен путем инвентаризации содержимого файлов, чтобы сделать возможным поиск документа.

Помимо преимуществ для организации производственного процесса, оцифровка предлагает также и ряд мероприятий для улучшения продукта. Ранее введенное цифровое изображение каждого продукта, хранящееся на микрочипе, прикрепленном к продукту, который используется в процессе производства для связи между собираемым продуктом и производящими его машинами, отображает впоследствии жизненный цикл отдельного продукта. С помощью данных об использовании и послепродажного обслуживания он дает ценную информацию, которую можно использовать в форме дальнейшей разработки продукта и предложения услуг по улучшению продукта.

Установка датчиков на станках приводит к значительному увеличению объема данных, собираемых в рамках производственных процессов. Данные состоят из рабочих данных, списков ошибок, истории действий по обслуживанию и т. д. В сочетании со связанными бизнес-данными общее количество данных обеспечивает материал для оптимизации процессов и других приложений. Чтобы освободить этот потенциал для оптимизации, необработанные данные должны систематически обрабатываться, проходя через различные алгоритмы. Результаты представляют собой подготовленную информацию с конкретными целями применения. В этом контексте следует упомянуть обнаружение паттернов, поскольку этот метод позволяет как определять количественно причинно-следственные связи, так и прогнозировать изменения состояния. Значение информации, предоставленной анализом, зависит от количества обработанных данных. Следовательно, крупным компаниям целесообразно

объединять свои хранилища данных и иметь возможность обмениваться ими для получения более точных и значимых информационных результатов. Требования к этим совместным операциям представляют собой решения для хранения данных с чрезвычайно большими вычислительными возможностями и возможностями хранения.

Многие из ранее описанных категорий потенциальных улучшений имеют много общего, поэтому функционирование представленных выше элементов киберфизических систем зависит от обмена данными между отдельными компонентами системы. В различных случаях обмен данными происходит не только внутри замкнутых ИТ-систем, но и через веб-интерфейс за пределами компании. Расширенная ценность используемых данных сопряжена с риском повышенной уязвимости из-за киберугроз. Эти киберугрозы состоят из кражи данных, саботажа, промышленного шпионажа и многого другого. В случае успешного исхода этих цифровых атак негативные последствия для затронутых компаний не поддаются исчислению. Кибератаки могут привести к неисправности оборудования и станков, что ставит под угрозу безопасность работы вплоть до потери доверия клиентов. Эти тревожные последствия подчеркивают необходимость разумных решений кибербезопасности.

Надежная концепция безопасности должна состоять из мер как на уровне отдельного участника системы, так и на уровне всей системы. Специально для сферы прямого сотрудничества и взаимодействия между персоналом и машинами необходимо исключить возможное манипулирование данными. Поэтому разработка инфраструктур систем безопасности является заметным аспектом в отношении работы киберфизических систем.

Среди прочего киберфизические системы обеспечивают повышенный уровень эффективности при создании промышленной продукции благодаря количеству информации в реальном времени, которую они предоставляют о технических процессах. Однако для использования всего потенциала киберфизических систем собранная информация должна также включать нетехнические источники данных. Неявные знания персонала попадают в эту категорию. Мероприятия, проводимые в процессе работы, основаны на практических знаниях персонала. Во многих случаях эти знания доступны только неофициально, и их трудно формализовать. Тем не менее, из-за большой ценности этих знаний, должны быть внедрены методы для систематической записи, категоризации и картирования. Наличие этих знаний может быть использовано для разработки руководящих принципов действий, которые являются неотъемлемой частью систем поддержки принятия решений. Примером может служить ремонт неисправной машины. Когда ошибка возникает в первый раз, процесс решения проблемы должен быть задокументирован, поэтому, когда он произойдет в следующий раз, будет доступно руководство по действиям, и тот, кто выполнит ремонт, сможет выполнить его с минимальными затратами

времени и средств. Тем не менее, процесс систематической записи, категоризации и отображения неявных знаний требует дополнительных усилий для сотрудников. Следовательно, важно уточнить общую добавленную стоимость на основе доступности руководств по действиям после того, как система поддержки принятия решений будет разработана и внедрена. Системы стимулирования являются надлежащим инструментом для обеспечения участия всех заинтересованных сторон.

Внедрение киберфизических систем влечет за собой серьезные изменения в процессе создания промышленной продукции, а также существенно влияет на роль человека в этом процессе. Задачи, роли и требования к персоналу проходят через серьезные преобразования. Концепции обучения и содержание специалистов должны быть адаптированы к новым потребностям. Особой проблемой в этом отношении является переподготовка и преподавание контента для существующей специалистов. Необходимы новые методы мотивации сотрудников и интеграции в новые учебные мероприятия. Иногда необходимо управлять даже укоренившимися традициями, предубеждениями и другими средствами сопротивления. Разработка новых квалификационных концепций как для стажеров, так и для опытных сотрудников, обеспечивающая способность работать и взаимодействовать с киберфизическими системами, является важной мерой для успешного управления изменениями. Помимо записи, классификации и отображения неявных знаний и оцифровки информации, которая ранее была децентрализованной и труднодоступной, это позволяет внедрять новые методы электронного обучения. Предлагаемое сотрудникам электронное обучение может быть реализовано при помощи мобильных устройств в качестве человеко-машинных интерфейсов, поскольку они легко могут быть использованы для этих целей.

Вопросы для самопроверки:

1. Определите область применения промышленных киберфизических систем.
2. Каким инструментарием необходимо обладать для того, чтобы внедрить автономные встроенные системы в киберфизические?
3. Для каких целей был создан протокол передачи данных OPC?
4. Какие мероприятия необходимо провести на производстве для его улучшения при помощи интеллектуальных технологий?
5. Почему для создания умного производства необходима полная оцифровка производственного процесса?

3. Сферы применения промышленных киберфизических систем

Указанные в предыдущей главе категории с высоким потенциалом улучшения необходимо сопоставить с конкретными сферами и областями применения, присущими процессу создания промышленной продукции. Для структурирования этих областей приложений их можно классифицировать в следующие сферы: интеллектуальные фабрики, промышленные интеллектуальные данные, промышленные интеллектуальные услуги, интеллектуальные продукты, интеллектуальные данные, связанные с продуктами, и интеллектуальные услуги, связанные с продуктами. Несмотря на то, что сферы интеллектуальных продуктов, а также интеллектуальные данные, связанные с продуктами, и интеллектуальные услуги, связанные с продуктами, не имеют прямого отношения к промышленному сектору, они имеют сильную взаимозависимость и существенно влияют на внедрение киберфизических систем в промышленных процессах.

3.1. Интеллектуальные фабрики (Smart Factory)

Изготовление и сборка промышленных изделий, а также основные и вспомогательные процессы на умной фабрике предлагают большое разнообразие областей применения для киберфизических систем. Прежде всего, стоит упомянуть само производство. При планировании и управлении производством необходимо принимать во внимание больше факторов, чем прежде, и организовывать большое количество технических, механических и цифровых процессов с минимальным временным интервалом. Следовательно, управление производством должно выйти на новый уровень автоматизации и автономизации. Чтобы достичь требований перспективного и конкурентного планирования и контроля производства, эти системы должны быть самонастраиваемыми, самооптимизирующимися, адаптивными, учитывающими текущую обстановку и способными работать в режиме реального времени. Чтобы достичь этой общей цели, киберфизические системы должны быть установлены по всей сборочной линии. В частности, многообещающим является внедрение интеллектуальных функций из области автоматизации и автономизации (межмашинное взаимодействие, присоединение машин типа «Plug and Play» и автоматические управляемые транспортные средства, а также механизмы диспетчерского контроля и сбора данных и реконфигурации системы). Кроме того, сборочная линия является важным субъектом для большинства киберфизических систем, позволяющих интегрированное взаимодействие человека с машиной.

Совместно эти меры приводят к реинжинирингу производственной процедуры, позволяющей экономически выгодно изготавливать партии

небольшого размера. Чтобы обеспечить интегрированный поток производства, дополнительные области применения предлагают большой потенциал для реализации киберфизических систем. Например, входящая логистика является одним из них. Автоматизированные электронные закупки обеспечивают достаточный приток производственных материалов и прекурсоров. Оптимальный объем заказа автоматически рассчитывается на основе данных в реальном времени, которые формируются на основе производственных, складских и входящих заказов. Кроме того, тенденции рынка, изменения цен и другие внешние данные, получаемые компанией, могут быть интегрированы для оптимизации электронных закупок. Со стратегическими поставщиками и субподрядчиками можно создать интегрированную цепочку поставок на основе киберфизических систем. Для этого взаимосвязанные производственные процессы нескольких компаний могут быть фактически связаны в стратегическую производственную сеть.

Как только производственные материалы и комплектующие поступают на интеллектуальную фабрику, управление ресурсами на основе киберфизических систем обеспечивает их автоматизированную интеграцию в производственный процесс. Автоматизированные управляемые транспортные средства собирают необходимые ресурсы со складов с виртуальным вводом в эксплуатацию. Другая область применения в контексте управления ресурсами — это согласование производства с интеллектуальными сетками. В этих интеллектуальных электрических сетях производство энергии тесно связано с фактическим спросом. В зависимости от текущих невыполненных заказов и потенциальных будущих заказов управление энергопотреблением на основе киберфизической системы может планировать энергоемкие этапы производства на сроки с благоприятными тарифами на электроэнергию. Общее повышение эффективности как в производственных процессах, так и в задачах планирования использования ресурсов в сочетании с оптимизированным энергопотреблением позволяет одновременно снизить затраты и обеспечить «зеленое производство».

Использование киберфизических систем также даёт существенные преимущества в задачах управления качеством. С помощью данных в реальном времени, получаемых от производственного процесса, а также от используемых ресурсов (особенно интеллектуальных продуктов), отклонения от номинальных значений качества на протяжении всего производственного процесса могут быть обнаружены с большой степенью точности. Это способствует постоянному контролю качества продукции, а также помогает понять причины брака продукта и связать их с производственными проблемами.

Исследования и разработки обеспечивают аналогичным образом широкий спектр доступности данных благодаря применению киберфизических систем в производственных и интеллектуальных продуктах. Цифровое изображение каждого продукта, хранящееся на микрочипе, прикрепленном к продукту, с

записями о сборке, обслуживании, ремонте и других состояниях, связанных с этапами жизненного цикла отдельного продукта, позволяет оценить сильные и слабые стороны этой продукции. Эти выводы полезны для дальнейшей разработки новых версий изделия. Кроме того, данные об используемых компонентах представляют особую ценность для мониторинга этапов жизненного цикла изделия. Информация о том, как клиенты используют продукцию, даёт представление о том, насколько продукт соответствует потребностям клиентов.

Применение киберфизических систем также полезно для управления взаимоотношениями с клиентами. Клиент может отслеживать свой заказ до его получения. В то время как для стандартизированных продуктов это не является чем-то новым, для индивидуализированных и изготовленных на заказ продуктов применение киберфизических систем может расширить перечень услуг, вплоть до отслеживания передвижения продукции с склада поставщика. Для индивидуальных продуктов становится возможным отслеживание всего производственного процесса благодаря применению киберфизической системы на конвейере. Поскольку прослеживаемость каждого заказа является обязательным требованием для автоматизированных производственных процедур, её также можно преобразовать в услугу для клиента. Таким образом, заказчик может не только отслеживать заказ в процессе производства, но и изменять его во время производства для последующих этапов производства. Новые производственные возможности благодаря применению киберфизических систем обеспечивают широкое производство интеллектуальных продуктов с потенциальной выгодой для клиента.

3.2. Промышленные интеллектуальные данные

Общим для всех областей применения индустриальных киберфизических систем является генерация больших объемов данных. Однако все накопленные данные, собираемые датчиками, установленными на интеллектуальном заводе, имеют ценность только тогда, когда они хранятся, обрабатываются и агрегируются и, таким образом, преобразуются в контекстную информацию.

Из-за огромного количества датчиков и массивного количества данных, собираемых ими на «умной фабрике», нужны специальные решения для хранения промышленных данных. Поэтому, когда компании применяют киберфизические системы в своих производственных и вспомогательных сферах, необходимо иметь соответствующее адекватное решение для хранения данных.

Постоянно поступающие и сохраняемые данные должны быть обработаны и интерпретированы. Как описано в разделе об интеллектуальной фабрике, существует несколько контекстов, для которых можно использовать проанализированные данные. Для систематического достижения этой цели

назначается область применения технологического проектирования для анализа промышленных данных. Непрерывная разработка и продвижение алгоритмов для обработки данных в ценную информацию является основной задачей этой области применения.

Таким образом, разработанные алгоритмы используются в процессе анализа промышленных данных, а наборы данных из разных источников в рамках смарт-фабрики оцениваются и интерпретируются. Основное внимание в этих действиях уделяется обнаружению шаблонов данных, которые можно соотнести с определенными событиями. Определение вероятности возникновения и прогнозирование является следующим этапом обработки промышленной информации. В целом процесс анализа промышленных данных можно обобщить термином «большие данные трансформируются в интеллектуальные данные».

В некоторых случаях информация, полученная в результате анализа промышленных данных, сама по себе недостаточно информативна. В этих случаях требуемая информация не может быть извлечена исключительно из пула данных, созданного заводскими внутренними киберфизическими системами. Чтобы восполнить этот пробел, необходимо применять промышленное «обогащение» данных. Концепция промышленного обогащения данных может быть описана следующим образом: в зависимости от задачи, которая должна быть выполнена, и доступности данных внутри компании, внешние источники данных идентифицируются и добавляются в базу данных. Примерами этих внешних данных являются анализ рынка, экономический и политический прогноз, обменные курсы и тому подобное. Кроме того, в этом контексте следует упомянуть собранные данные о готовой продукции, которая сейчас используется. Используемые источники данных могут быть как бесплатными, так и платными.

Кроме этого, отсутствие данных может быть объяснено тем, что определенные данные существуют внутри компании, но не в подходящей форме. Это имеет место, если документы доступны только в виде печатных копий или этапы обработки выполняются с непрерывным носителем, оставляя данные в аналоговой форме. Для решения этой проблемы необходимы методы систематической оцифровки. Тем не менее, процесс оцифровки выходит за рамки простого действия по переносу информации из аналоговой формы в цифровую: систематическое тегирование и сбор новых оцифрованных данных обеспечивает их нахождение и практическое использование.

Функционирование киберфизических систем создаёт и требует большого количества данных одновременно. Чтобы обеспечить беспрепятственную последовательность процессов и потоков данных, требуется взаимосвязь всех задействованных киберфизических систем. В определенных сценариях, таких как стратегические производственные сети, это означает обмен информацией между независимыми компаниями через интернет. Кибербезопасность является одним

из основных элементов киберфизических систем, который необходим для обеспечения безопасности и защиты промышленной информации

3.3. Промышленные интеллектуальные сервисы

Информация и выводы, полученные из промышленных интеллектуальных данных, не только непосредственно возвращаются в производственный процесс, но и составляют основу для широкого спектра промышленных интеллектуальных услуг. Эти управляемые данными услуги могут быть собственными услугами, поддерживающими собственные процессы создания продукта или услугами, предлагаемыми внешним клиентам. Таким образом, собранные данные можно рассматривать как благоприятную основу для новых услуг, целью которых является дальнейшая оптимизация процесса создания продукции. Помимо интеллектуальных услуг на основе данных, существуют службы, например, квалификационные курсы, которые работают с ограниченным использованием данных. Как интенсивные интеллектуальные данные, так и требующие меньшего объема данных внутренние и внешние сервисные предложения подробно описаны ниже.

Применение промышленных киберфизических систем часто связано с возможностью усовершенствования существующих бизнес-моделей или создания совершенно новых. Таким образом, выводы, полученные из промышленных интеллектуальных данных, могут быть использованы для разработки бизнес-модели. Наличие подробной информации как о производственных процессах, так и об используемых продуктах, обогащенных данными из других контекстов, облегчает систематическое развитие или корректировку бизнес-моделей.

В то время как область применения методик разработки бизнес-моделей показывает потенциал для стратегического использования интеллектуальных услуг, существуют также оперативные сценарии. В этом смысле квалификация сотрудника является необходимым действием для обеспечения функциональной интеграции пользователей в киберфизические системы. Составление и реализация современных концепций обучения обеспечивает знакомство и надлежащее взаимодействие сотрудников с киберфизическими системами.

На основе проведенных мероприятий по квалификации сотрудников и систематической интеграции пользователей в киберфизические системы могут быть внедрены передовые формы управления знаниями. Целью этих систем управления знаниями является сбор скрытых знаний сотрудников для повторного применения в случае необходимости. Таким образом, неявные знания персонала становятся еще одним источником данных для области промышленного обогащения данных. Чтобы гарантировать готовность рабочей силы внести свой вклад в эти системы управления знаниями, процесс сбора знаний не должен быть принудительным, а предлагаемые выгоды должны превосходить усилия.

Очень наглядным примером удачного использования систем управления знаниями является техническое обслуживание. Деятельность по техническому обслуживанию направлена на обеспечение доступности производственных мощностей. Они включают в себя техническое обслуживание и проверки в процессе эксплуатации, а также ремонт и капитальный ремонт в случае неисправностей и ошибок. В то время как обработка повторяющейся задачи в области технического обслуживания и проверок стандартизирована и запланирована, устранение неисправностей и устранение ошибок можно рассматривать как преимущественно разнообразные процессы с высокой степенью свободы исполнения, особенно, когда возникают неисправности и ошибки высокой сложности и знание предыдущих решений приходится как никогда кстати.

В идеале эти знания представляются в структурированном виде в форме руководства действий. Например, тренажёры являются подходящей платформой для накопления этой и другой контекстной информации, предоставляемой обслуживающему персоналу. Ценность использования пульта управления ресурсами со временем увеличивается, поскольку каждое решение о неисправности или ошибке вводится в систему и связывается с событием (сбор промышленных интеллектуальных данных). Всякий раз, когда неисправность или ошибка возникают снова, сервисный инженер может получить выгоду от подготовительной работы коллег.

Помимо описанных возможностей для технического обслуживания благодаря расширенному управлению знаниями, киберфизические системы могут применяться для улучшения общего процесса обслуживания. Целью является сокращение времени простоя оборудования путем постоянного анализа состояния компонентов машины (техническое обслуживание на основе состояния). Можно идентифицировать как данные, собранные установленными датчиками всех компонентов оборудования, так и возникновение ошибок в анализе промышленных данных, моделях и причинно-следственных связях. На основе этой информации точность прогнозного обслуживания может быть значительно улучшена. Применение профилактического технического обслуживания может оказать положительное влияние на доступность производственных мощностей из-за меньшего количества нарушений в производственном процессе и оптимизированных периодов использования каждого компонента оборудования. Кроме того, применение киберфизических систем расширяет возможности использования удаленного обслуживания. На основе обширной доступности информации, извлекаемой из промышленных интеллектуальных данных, могут быть предложены удаленные действия для решения проблем или поддержки персонала, находящегося на удалённом расстоянии.

Все представленные выше промышленные интеллектуальные услуги могут быть реализованы либо как внутренние решения, либо в качестве услуг, предлагаемых сторонним компаниям, которым требуются подобные услуги. Рыночная коммерциализация систем промышленного обслуживания дает возможность получить дополнительную финансовую отдачу на основе киберфизических систем. Эти услуги варьируются от консультационной деятельности до стратегического сотрудничества между производителем и поставщиком услуг в рамках производства или оценки данных.

3.4. «Умная» продукция

Помимо представленных выше потенциальных сфер применения, создание промышленного продукта может значительно выиграть благодаря интеграции киберфизических систем в послепродажный период жизненного цикла изделия. Соответственно, интеллектуальные продукты и соответствующие интеллектуальные данные и интеллектуальные услуги в контексте клиента предоставляют возможность поддерживать постоянную связь между клиентом и используемым продуктом, с одной стороны, и производителем, с другой. Преимущества такого подхода послепродажного обслуживания очевидны как для производителя, так и для покупателя. Производитель получает информацию о том, как клиенты используют свои продукты и имеет возможность согласовывать будущие программные и аппаратные разработки в соответствии с потребностями клиентов и, при необходимости, предоставлять обновления, но самое главное, корректировать производственный процесс в случае обнаружения сбоя в работе используемых продуктов.

При этом качество продукции постоянно улучшается. Таким образом, бизнес-единицы маркетинга, разработки продуктов и производства получают выгоду от описанного обратного потока данных в целом. Конечно, анонимизация и безопасность данных являются основной предпосылкой для таких процедур. Заказчик также получает прибыль от киберфизических компонентов продукта. Это становится ясным при анализе характеристик и функциональных возможностей умных продуктов. Идентифицируемые, адаптивные, учитывающие контекст и способные к взаимодействию в реальном времени атрибуты интеллектуальных продуктов очень похожи на атрибуты производственных механизмов на умной фабрике. Основываясь на этом, умные продукты могут предложить инновационные формы потребительской выгоды. Это становится понятным при рассмотрении используемого продукта: в сочетании с повсеместной вычислительной средой, такой как приложения для «умного дома», интеллектуальные продукты адаптируются к заданным предпочтениям и поведению пользователя. Благодаря адаптивной системной

интеграции эти продукты получают доступ к интеллектуальным услугам, связанным с продуктами. Таким образом, умный продукт является осязаемой платформой для различных услуг, используемых в зависимости от ситуации и контекста.

Умные продукты также могут быть составлены по модульному принципу, предоставляя возможность расширенных функций в случае необходимости. Модульность позволяет настраивать продукты с учетом предпочтений пользователей. Включение интеллектуальных продуктов в портфель продукции дает компаниям множество преимуществ. Во-первых, использование киберфизических систем предназначено не только для продвижения самого производственного процесса, но и для производства продуктов с инновационными формами потребительских свойств. Во-вторых, благодаря интеллектуальным продуктам становится проще собирать данные об используемом продукте, что является особенно ценным для сферы управления качеством, а также для исследований и разработок.

3.5. Интеллектуальные данные и интеллектуальные сервисы

Как и в сфере промышленных интеллектуальных данных, интеллектуальные данные, связанные с продуктом, должны оцениваться аналитическим процессом. Как и в производственном процессе, следующие области применения являются предварительными условиями для получения нужной нам информации: хранилище данных, разработка процессов для анализа данных, анализ данных и обогащение данных. Результаты обработки данных используются для двух целей. С одной стороны, это стимулирующий элемент для интеллектуальных услуг, связанных с продукцией, с другой стороны, он входит в процесс создания добавленной стоимости в промышленном производстве, интегрируясь как данные из другого контекста в процесс обогащения промышленных данных. Являясь результатом промышленной обработки данных, информационный аналог продукта зависит от надежных решений из области кибербезопасности.

В зависимости от сферы деятельности компании необходимо выбрать подходящие способы интеллектуализации производства. Для компаний с основными компетенциями в производственном процессе это сфера умной фабрики, для IT-компаний – сферы интеллектуальных данных и для поставщиков услуг - сферы интеллектуальных сервисов. После выбора подходящей сферы конкретные области применения в этой сфере должны выбираться на основе характеристик отдельных компаний. Затем необходимо оценить и предвидеть зависимости от окружающих областей применения, а также потенциальные

синергетические эффекты. В качестве следующего шага снова необходимо оценить зависимости и синергетические эффекты, но на этот раз не на объекте трансформации, а на уровне всей сферы деятельности. Например, улучшение в области технического обслуживания в значительной степени зависит от области управления знаниями в своей собственной сфере (интеллектуальные услуги в промышленности), а также от линии сборки, анализа производственных и промышленных данных из соседних сфер (интеллектуальных фабрик и промышленных интеллектуальных данных). В зависимости от компетенций, релевантности бизнес-модели и доступности капитала, решение должно приниматься между собственными решениями или обращением к внешним поставщикам услуг. Этот процесс должен повторяться для каждого целевого поля приложения с итерационными циклами до тех пор, пока предполагаемые сценарии применения киберфизических систем не будут спланированы оптимально. В процессе реализации представленные модели могут использоваться для ориентации и настройки постоянно. Когда реализация завершена, информационная модель трансформации может служить базовой структурой для валидации и сравнительного анализа.

Вопросы для самопроверки:

1. Что такое «Интеллектуальные фабрики»?
2. Для чего нужно цифровое изображение объекта?
3. Какую роль играют данные для индустриальных киберфизических систем?
4. Для чего нужны промышленные интеллектуальные сервисы?
5. Когда продукт может считаться «умным».

4. Проектирование индустриальных киберфизических систем

4.1. Подходы к разработке и анализу интеллектуальных производственных систем

Как уже было сказано выше, киберфизические системы (КФС) представляют собой интегрированные варианты киберсистем (состоящих из вычислительных, коммуникационных и управляющих элементов) и физических систем (состоящих из материальных элементов). Почти все продукты, используемые в современном обществе, являются в той или иной степени киберфизическими системами. Почти все современные производственные системы для производства этих продуктов также являются киберфизическими системами. Разработка такой сложной системы, как КФС, вдохнула новую жизнь в область системного проектирования, которая постепенно отходила от сферы профессиональной деятельности, основанной на чертежах, к дисциплине, основанной на моделях. Фактически, успех в киберфизической системной

инженерии сильно зависит от правильного применения системной инженерии на основе моделей (MBSE).

Производство является национальным приоритетом в нескольких странах, в том числе в США, Германии, Японии, а с недавних пор и в Российской Федерации. Эти страны вкладывают значительные средства в партнерские отношения между государственным и частным секторами, которые они считают стратегическими, производственно-технологическими сферами. Например, Национальный институт стандартов и технологий США (NIST) принимает активное участие в нескольких исследовательских проектах в области интеллектуальных производственных систем, направленных на решение проблем стандартов и научных измерений в производственных системах. В этих проектах NIST также применяет достижения в области киберфизических систем для производства.

Киберфизические системы являются неизбежным следствием информационной революции. Встраиваемые вычисления, интернет-коммуникации и цифровое управление стали неотъемлемой частью современных инженерных продуктов и процессов их производства. Такие продукты и процессы и являются киберфизическими системами. Национальный научный фонд (NSF) США является крупным инвестором в фундаментальные исследования в КФС с 2010 года, и он определяет и объясняет КФС следующим образом: «Киберфизические системы - это инженерные системы, которые построены на бесшовной интеграции вычислительных систем и зависящих от неё алгоритмов и физических компонентов. Прогресс в КФС обеспечит возможности адаптивности, масштабируемости, отказоустойчивости, безопасности и удобство использования, которые намного превзойдут простые встроенные системы сегодняшнего дня. Технология КФС изменит способ взаимодействия людей с созданными системами - так же, как Интернет изменил способ взаимодействия людей с информацией. Новая интеллектуальная КФС будет стимулировать инновации и конкуренцию в таких секторах, как сельское хозяйство, энергетика, транспорт, проектирование и автоматизация зданий, здравоохранение и производство».

В то время как основные технические достижения всё больше проникают в сферу интересов КФС, область системного проектирования также переживает ренессанс. Международный совет по системному проектированию (INCOSE) определяет и описывает системное проектирование следующим образом: «Системное проектирование является междисциплинарным подходом и средством, позволяющим реализовать успешные системы. Основное внимание уделяется определению потребностей клиентов и требуемой функциональности на ранних этапах цикла разработки, документированию требований, затем продолжению синтеза проекта и валидации системы при рассмотрении полной проблемы. Системная инженерия объединяет все дисциплины и специальные

группы в командную работу, формируя структурированный процесс разработки, который переходит от концепции к производству и эксплуатации. Системная инженерия рассматривает как бизнес, так и технические потребности всех клиентов с целью обеспечения качественного продукта, который отвечает потребностям пользователей». Ренессанс в системной инженерии, упомянутый выше, вызван применением последних достижений в области информационных наук и технологий в области системного проектирования.

Традиционно в практике системного проектирования преобладали бумажные (или эквивалентные бумажным электронные файлы) документы. Такие документы читают только люди, которые понимают содержание и могут на основании полученной информации предпринять дальнейшие действия. Эта практика заменяется дисциплиной системного инжиниринга, которая основана на информационных моделях, которые могут быть прочитаны машинами (в дополнение к тому, чтобы быть прочитанными людьми). Машиночитаемость является необходимым условием для автоматизации, которая повышает качество и скорость обработки информации в системной инженерии.

В 2007 году INCOSE опубликовал важный документ под названием «Системная инженерия Vision 2020», в котором изложена концепция MBSE. Это видение ознаменовало переход от преобладающей практики, основанной на документах, к практике, основанной на моделях. Этому переходу способствовала разработка и внедрение открытых стандартов и программных средств, таких как язык моделирования систем SysML и Modelica. Время разработки этих инструментов является особенно подходящим из-за значительного увеличения сложности КФС. Возрастающая сложность требует формальных инструментов моделирования и имитации для определения и анализа систем с максимально возможной автоматизацией, другими словами, MBSE. Американская ассоциация аэрокосмической промышленности недавно обрисовала преимущества использования MBSE на протяжении всего жизненного цикла продукта, включая любое сотрудничество между правительством и промышленностью для ранней разработки требований.

Недавно INCOSE опубликовал обновленный манифест под названием Vision 2025. Контекст и содержание Vision 2025 можно резюмировать следующим образом:

- Центр тяжести системотехники сместился с аэрокосмического и оборонного секторов на сектор автомобильной и бытовой электроники. Такая тенденция неудивительна, потому что компании автомобильной и бытовой электроники быстро внедрились КФС и вкладывают значительные средства в их исследование и разработку.
- Переход от MBSE к модельно-ориентированному предприятию (МВЕ) охватывает этапы жизненного цикла продуктов. Модели, созданные на ранних этапах жизненного цикла продукта с использованием инструментов и принципов

MBSE, имеют ограниченную ценность только в том случае, если эти модели не связаны с моделями на этапах проектирования, производства, тестирования, установки, обслуживания и утилизации продукта (системы). МВЕ предлагает гораздо более широкий взгляд на модели и их взаимодействие на протяжении жизненного цикла системы.

- Центр системной инженерии сместился на композицию и интеграцию, в отличие от декомпозиции. Причиной такого сдвига является тот факт, что промышленность и правительство не хотят предпринимать дорогостоящие и длительные проекты, которые начинаются с чистого листа. В настоящее время основной упор делается на интеграцию и тестирование существующих подсистем и технологий в быстрых итерационных циклах. Понятие декомпозиции системы все еще важно, но оно больше не является основным драйвером. Эта тенденция также согласуется с процессом разработки по спирали (быстрые итерации сборки и тестирования) вместо процесса разработки в форме буквы V (нисходящая декомпозиция с последующей компоновкой снизу вверх).

В высокотехнологичной сфере в настоящий момент наблюдаются тенденции, при которых правительственные лаборатории и университеты проводят исследования мирового уровня, в то время как промышленность фокусируется на разработке и коммерциализации продукции. Это создаёт растущий разрыв между уровнем фундаментальных исследований и прикладных, который в основном связан с трудностями внедрения передовых производственных технологий в реальные производственные процессы. Без этой недостающей середины хорошие идеи часто могут потеряться. Это признание привело, например, к тому, что Совет советников президента США по науке и технологиям (PCAST) определил следующие доминирующие технологии для производственных инноваций: продвинутая сенсорика и контроль, информатика, визуализация, интеграция цифрового производства и современное производство материалов. В ответ на рекомендации правительственных советников по стимулированию производственных инноваций промышленные и правительственные организации разработали новые программы для решения проблем интеллектуальных производственных технологий и развития инфраструктуры.

Специально созданный консорциум «Умное производство» разработал архитектуру интеллектуальной производственной платформы и определил приоритеты технологии и стандартов для интеллектуального производства. Технологические приоритеты, обозначенные специалистами консорциума, включают моделирование и симуляцию, интеграцию датчиков, сбор и управление данными, а также интеграцию корпоративных систем. Другой созданный консорциум – Консорциум промышленного интернета вещей (IIoT) - ориентирован на внедрение интеллектуальных технологий для промышленных приложений. IIoT работает над тем, чтобы ускорить рост промышленного

интернета, продвигая лучшие практики, способствуя созданию отраслевых испытательных стендов и разрабатывая эталонные архитектуры и структуры, необходимые для взаимодействия. Так, в США Национальная сеть производственных инноваций создала несколько производственных институтов, в том числе Институт инноваций в области цифрового производства и проектирования. Цифровое производство — это способность связывать различные части жизненного цикла производства с помощью данных и использовать эту информацию для принятия более разумных и эффективных бизнес-решений.

Такие производственные инновационные инициативы не ограничиваются только Соединенными Штатами. В Европе целью немецкого проекта Industrie 4.0, о котором уже упоминалось в предыдущих главах, является развитие интеллектуальной фабрики (Smart Factory), характеризующейся адаптивностью, эффективностью использования ресурсов и эргономикой. Технологические основы «умной фабрики» - киберфизические системы и Интернет вещей. В Японии Министерство экономики, торговли и промышленности (METI) объявило о стратегии Smart Convergence, направленной на развитие новых промышленных технологий посредством оцифровки и создания сетей.

Именно в этом контексте всемирного интереса к производственным инновациям необходимо использовать интеллектуальное производство как способное внести вклад в общественное благо, фундаментально изменив способ проектирования, изготовления, использования и утилизации продукции. Интеллектуальные производственные системы будут производить меньше отходов, потреблять меньше энергии, потреблять меньше ресурсов и предоставлять больше возможностей для бизнеса. Быстрое внедрение интернет-соединений, беспроводных технологий, облачного хранения и анализа данных уже стимулировало рост интеллектуальных производственных систем. Чтобы реализовать весь потенциал интеллектуального производства, необходимы новые технологии и новые стандарты.

В качестве примера реализации инновационной программы можно рассмотреть программу Smart Manufacturing, которая полностью соответствует миссии Национального института стандартов и технологий США (NIST) по продвижению инноваций и конкурентоспособности промышленности. В настоящее время в NIST существует две программы для интеллектуальных производственных систем, одна из которых посвящена проблемам проектирования и анализа, а другая - планированию операций и проблемам управления.

Системное мышление и киберфизическая инженерия присутствуют во обеих этих программах. Программы учитывают основные возможности, заложенные в рекомендациях Совета советников президента США по науке и технологиям (PCAST), для кардинального переосмысления производственного

процесса с использованием передовых технологий и общей инфраструктуры. В этих программах NIST устраняет разрыв между отраслевыми требованиями и фундаментальными научными исследованиями путем предоставления стандартов и справочных данных, полученных в результате исследований NIST и тесного сотрудничества в отрасли.

Значение стандартов для промышленности и экономики подчеркивается в отчете Совета PCAST. Стандарты «стимулируют принятие новых технологий, продуктов и методов производства. Стандарты обеспечивают более динамичный и конкурентный рынок, не препятствуя возможности дифференцироваться. Разработка стандартов снижает риски для предприятий, разрабатывающих решения, и для тех, кто их внедряет, ускоряя внедрение новых производимых продуктов и методов производства». Стандарты являются критически важным инструментом для выравнивания игрового поля для малых предприятий путем снижения ценовых барьеров. Например, стандарты управления жизненным циклом продукта (PLM) способствуют как гибкости (за счет оптимизации процессов), так и качества (путем интеграции различных действий на протяжении жизненного цикла продукта и производственной системы). Стандартизированные интерфейсы делают возможными системы с открытым исходным кодом и недорогие PLM-системы. В области производственных систем стандарты подключения устройств позволяют малым предприятиям предлагать решения по оптимизации производительности машин и надежности систем для повышения производительности, качества и надёжности. Стандарты интеграции систем предприятия и цепочки поставок, такие как Спецификация интеграции групп открытых приложений (OAGIS), помогают оптимизировать бизнес-процессы между партнерами в цепочке поставок. Эти стандарты позволяют недорогим приложениям, подходящим для небольших производителей, работать с приложениями уровня предприятия, используемыми производителями оригинального оборудования (ОЕМ).

Различные стандарты по-разному способствуют реализации интеллектуальных производственных систем. В этой сфере в настоящее время существует огромное количество стандартов, и отрасль стремится к критическому обзору этих стандартов, их внедрению и совместимости.

Разработанный NIST стандарт стандартов делает первый шаг. Ландшафт определяет ключевые возможности интеллектуального производства и представляет экосистему интеллектуального производства. Интеллектуальная производственная экосистема охватывает три измерения: продукты, производственные системы и корпоративные (бизнес) системы. Пейзаж связывает стандарты с фазами жизненного цикла всех трех измерений.

Исследовательская программа для проектирования и анализа интеллектуальных производственных систем (SMSDA) состоит из следующих четырех исследовательских проектов: (1) методологии моделирования для

анализа производственных систем, (2) прогнозная аналитика, (3) измерение производительности для производственных систем и (4) сервисное производство и сервисный состав.

На основе предыдущей работы NIST по устойчивому производству, моделированию единичных процессов и производственным услугам программа SMSDA стремится разработать аналитическую основу для проектирования, анализа и прогнозирования производственных систем. Основное внимание в программе уделяется изготовлению и сборке отдельных деталей, но оно включает в себя и предложения для серийного производства. Программа разрабатывает формальные методы и инструменты для динамического составления моделей компонентов производства для облегчения прогнозирования и измерения производительности. Чтобы предсказать и измерить производительность на уровне производственной системы для различных производственных сценариев, модульные модели должны быть динамически составными в аналитической среде, представляющей большую производственную систему. Кроме того, в настоящее время исследуются системные архитектуры, позволяющие обрабатывать компьютерные модели описания услуг с точки зрения их полезности при интеграции производственных систем. Такие модели необходимы для упрощения автоматической регистрации, обнаружения и организации производственных услуг в гибких производственных системах. Методы проверки и количественного определения неопределенности для этих моделей также изучаются.

При разработке новых и эксплуатации существующих производственных систем производителям необходимо знать, что предлагаемые конструкции систем осуществимы и дадут оптимальные результаты. Вместо того, чтобы использовать аналитические модели, многие производители все еще используют эмпирические (например, метод проб и ошибок) методы для проектирования, эксплуатации или перепроектирования производственных систем. Есть несколько причин. Во-первых, разработка моделей и интерпретация результатов не следуют точной методологии, используемой различными способами. Это ограничивает возможность разработки систематических средств применения аналитических методов для принятия решений. Это также значительно увеличивает время и стоимость принятия действенных рекомендаций. Из-за этого усилия по аналитическому моделированию для производственных систем часто перекрываются такими событиями, как, например, сроки принятия решений и неисправности оборудования. Во-вторых, в дополнение к созданию аналитических моделей существуют фундаментальные проблемы их фактического использования. Задачи включают:

- использование информации из различных источников;
- знание того, что применяемые методы соответствуют ситуации;

- знание степени, в которой аналитические результаты являются достоверными;
- влияние на понимание прилагаемое усилие.

Последствия включают упущенные возможности повторного использования знаний, ненадежные результаты и высокую стоимость анализа. В настоящее время модели и источники информации, используемые в аналитической деятельности, нелегко интегрировать. Основным препятствием для интеграции является отсутствие методов, поддерживающих композицию как между компонентами модели, так и с разными точками зрения. При этом точка зрения - это набор связанных проблем, взятых из представления всей системы. Существующие исследования не используют уникальные характеристики умного производства. Эти характеристики включают постоянную потребность в аналитических методах, их интеграцию с данными операций, их интеграцию с системами управления производством и возможность выделять часть производственных ресурсов для экспериментального исследования новых процессов. Разнообразие проблем, к которым могут применяться аналитические методы на производстве, затрудняет определение широко применяемых стратегий интеграции.

Новая технология, подходящая для предметного моделирования, предоставляет эффективные средства для представления различных точек зрения, но ей не хватает методологии для эффективного составления компонентов модели. Рисунок 1 иллюстрирует, как такие модели могут быть составлены для формирования сложных аналитических инструментов с использованием постановки проблемы и метамodelей инструмента. Моделирование на основе уравнений предлагает эффективный метод композиции, но он работает только для определенных приложений.

Одним из таких приложений и первоначальным центром рассматриваемого проекта является оптимизация, в частности, оптимизация планирования. В рамках проекта разрабатываются методы представления и составления аналитических моделей, необходимых для формулирования и решения задач календарного планирования на интеллектуальном производственном предприятии. Методы включают синтез элементов функциональных, предметно-ориентированных и основанных на уравнениях методов моделирования. В случае успеха эта методология, которая может быть расширена для решения других типов задач оптимизации, станет неотъемлемой частью интеллектуальных производственных систем.

Резкое увеличение доступности машинных данных увеличило потенциал для улучшения прогнозирования и диагностики. Прогнозирующая аналитика является основной основой для реализации этого потенциала. Сегодня существуют многочисленные коммерческие прогнозно-аналитические решения.

Однако эти существующие решения основаны на проприетарных моделях, работающих на платформах с открытым исходным кодом.



Рисунок 4.1 Развитие аналитических возможностей путем составления предметных точек зрения

Эти решения предназначены только для крупных производителей оборудования и редко доступны в качестве реконфигурируемых, открытых приложений, подходящих для малых и средних предприятий.

Рассматриваемый проект направлен на устранение этого ограничения путем разработки открытых протоколов и стандартов для ввода данных в эти решения и методов измерения характеристик модели и оценки их результатов. В частности, в рамках проекта будут разработаны решения для сбора, слияния, уменьшения размеров и фильтрации данных, а также основанный на измерениях подход к решению проблем прослеживаемости, количественной оценки неопределенности, безопасности, проверки, валидации и происхождения данных. Целью проекта является использование этих методов и стандартов для построения прогностических возможностей, необходимых как для прогнозирования, так и для диагностики от уровня машины до уровня предприятия.

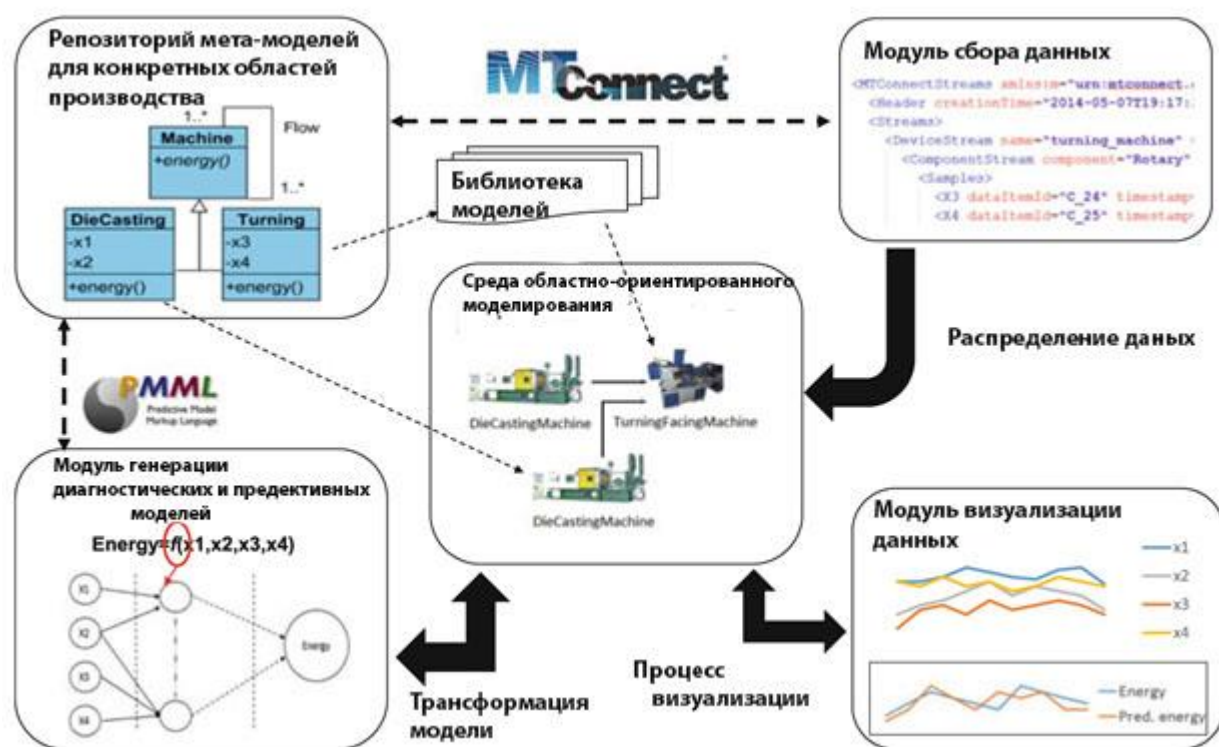


Рисунок 4.2 Система предиктивного анализа на производстве.

Стандарты для аналитической информации, такие как язык моделирования с прогнозирующей разметкой (PMML), расширяются для поддержки производственных приложений и находятся в центре внимания этого проекта. На рисунке 4.2 представлен обзор предлагаемой основы прогнозной аналитики в производстве. Цель этого проекта - использовать эту платформу в качестве основы для демонстрации прототипа, прогнозирующего аналитического решения, которое повышает эффективность производственной системы. Система-прототип будет включать в себя производственные модели для прогнозной аналитики, специфичные для предметной области языки для выполнения прогнозной аналитики и стандартные интерфейсы для инструментов анализа данных. Задача такого прототипа состоит в том, чтобы облегчить специалистам в области производства создание моделей производственных систем и генерирование необходимых аналитических моделей на основе спецификации производственной системы.

Производители внедряют интеллектуальные системы для повышения гибкости, производительности, качества и устойчивости. Эти интеллектуальные системы объединяют информационные и коммуникационные технологии с интеллектуальными программными приложениями для оптимизации различных показателей производительности, что приводит к своевременной доставке специализированных высококачественных продуктов. Следовательно,

способность определять эффективные метрики и измерять фактическую производительность имеет решающее значение для достижения этого результата.

Возникают два важных вопроса. Первый: «Какие критерии используются для характеристики заданной производительности?» Второй: «Как можно количественно оценить эти критерии с помощью реализуемых измерений?» Первоначальным и давним критерием производительности была производительность. Затем пришло качество - во многом благодаря успеху японцев в 1980-х годах. В эпоху умного производства в список были добавлены еще два критерия. Гибкость связана с тем, насколько быстро и насколько хорошо производители адаптируются к изменениям на рынке. Самым последним дополнением и фокусом большей части этого исследования является устойчивость. Устойчивость производства определяется как создание готовой продукции с помощью процессов, которые не загрязняют окружающую среду, экономят энергию и природные ресурсы, а также являются экономически обоснованными и безопасными для работников, сообществ и потребителей. Характеристики устойчивости пока слабо детерминированы, в отличие от других характеристик, но эта область исследований активно развивается. По мере увеличения производительности и гибкости производственных систем возрастает необходимость лучшего понимания и контроля воздействия этих систем на устойчивость. Устойчивость производства может быть выражена с точки зрения воздействия на окружающую среду с акцентом на эффективное использование энергии и природных ресурсов. Устойчивое производство является сложной проблемой, потому что сокращение потребления ресурсов и воздействия на окружающую среду должны быть сбалансированы с другими факторами, включая качество, производительность и стоимость. Понимание изменений в системе с точки зрения множества целей становится более трудным, когда критерии, на основании которых могут быть сделаны оценки устойчивости, не измеряются и не доступны таким образом, чтобы их можно было использовать на системном уровне. Этот проект направлен на разработку стандартных критериев и методов измерения для обеспечения возможности интеллектуального проектирования и анализа производственных систем. Основная проблема, с которой сталкиваются производители, заключается в определении возможностей для повышения производительности и интеграции новых интеллектуальных технологий для реализации этих улучшений.

Промышленность регулярно собирает данные оперативного уровня всех видов. В отрасли не хватает знаний, необходимых для использования этих данных для повышения общей производительности. Целью этого проекта является развитие знаний, необходимых для измерения и стандартизации методов оценки эффективности производства. Устойчивому развитию уделяется особое внимание в качестве наименее понятного фактора для умного производства. Для

достижения этой цели исследуются эталонные архитектуры, стандартные методы представления и краудсорсинговые решения для сбора знаний.

На ранних стадиях проекта доминировали два вида деятельности. Первое из них было посвящено исследованию методов определения операционных улучшений в производственных системах. Результаты этого исследования привели к пониманию того, как использовать модели производственной системы, называемые эталонными архитектурами, для обеспечения производительности. Затем этот подход был распространен на новую эталонную архитектуру для проектирования и улучшения фабрики. Эта модель станет основой для будущих стандартов и руководств по продвижению более эффективных методов проектирования и совершенствования производства. На втором этапе были разработаны два руководства: ASTM E60.13 - Стандартное руководство по оценке устойчивости производственных процессов, для стандартизации методов оценки эффективности производственных процессов, и ASTM E60.13 - Руководство по характеристике экологических аспектов производственных процессов, чтобы стандартизировать методы для характеристики производительности производственных процессов в качестве строительных блоков для системного анализа с особым акцентом на оценку устойчивости.

Эти два вида проекта продолжают развиваться, но уже с упором на использование и расширение стандартов. Кроме того, был инициирован новый рабочий элемент под названием «Стандартное руководство» для определения, выбора и составления ключевых показателей эффективности для оценки экологических аспектов производственных процессов. В настоящее время в рамках проекта изучаются два подхода к сбору и распространению широкой базы производственных знаний в промышленности.

Первый подход заключается в создании национального хранилища моделей производственных процессов на основе руководящих принципов ASTM E60. Второе - отобрать практические знания практиков, чтобы понять, где, когда и как применять интеллектуальные производственные технологии на практике.

Традиционные производственные системы охватывали жизненный цикл продукта путем интеграции программных подсистем посредством сочетания открытого и закрытого обмена данными. Быстрая революция и внедрение промышленных интернет-технологий заменяет программные подсистемы производственными программными службами. Облачные вычисления - основная технология, способствующая этим революционным изменениям.

Облачные вычисления обеспечивают экосистему комбинируемых (простых в сборке) производственных услуг, которые ускорят разработку новых продуктов, повысят эффективность управления производством и цепочкой поставок, а также позволят использовать аналитику данных для оптимизации производственной деятельности. Это существенно меняет традиционную интеграционную парадигму. Недавние исследования показали, что основным преимуществом

открытых, динамически компонуемых облачных сервисов будет новая основанная на стандартах платформа, которая будет продвигать инновации в интеллектуальных производственных системах.

Одной из технических проблем, широко обсуждаемых исследователями, является обнаружение услуг. Утверждается, что прежде, чем услуги могут быть составлены, они должны быть обнаружены. Как правило, открытие включает в себя два этапа. Первый включает в себя определение требований к обслуживанию и возможностей обслуживания, которые позволяют представлять и регистрировать. Второй включает разработку метрик и алгоритмов, которые могут соответствовать друг другу. Первоначальные усилия сосредоточены на первом шаге. В рамках рассматриваемого проекта разрабатываются эталонные модели, методы анализа и инструменты синтеза в качестве основы для связанных со стандартами спецификаций как требований, так и возможностей. Результаты снизят риски для поставщиков услуг, поставщиков облачных вычислений и пользователей-производителей, предоставляя инструменты на основе эталонных архитектур, которые будут направлять разработку и проверку таких стандартов.

Целесообразно реализовывать вычислительный подход на основе моделей для определения требований и возможностей производственных услуг. Считается, что этот подход позволяет генерировать обрабатываемые компьютером представления, которые облегчат эффективную регистрацию, обнаружение и структуру услуг. Примером такого инструмента, основанного на метамодели Стандартной спецификации базовых компонентов (CCS) ИСО, является Инструмент семантического уточнения обмена сообщениями NIST (MSSRT).

Для разработки предполагаемых представлений, обрабатываемых компьютером, проект развивает некоторые отраслевые подходы, основанные на специфичном контексте и подходов к управлению. Были рассмотрены различные предложения по обработке контекста и контекстно-зависимой конфигурации документов, например, те, которые были найдены в спецификациях ebXML. В одном случае подход был сфокусирован на предложении контекстной метамодели и определении возможных контекстных категорий и соответствующих классификаций, которые можно использовать для определения списка допустимых значений для каждой контекстной категории. Эта спецификация может быть дополнительно улучшена, например, путем расширения метамодели контекста для поддержки различных типов ассоциаций между значениями классификации. В другом случае подход определяет метод сборки бизнес-документа и контекстно-зависимого вывода собранного документа. Расширяя уже существующие методики, основные новые идеи рассматриваемого подхода заключаются в том, чтобы:

1) использовать контекстную информацию для обеспечения формальной, точной каталогизации и управления жизненным циклом информации об использовании спецификаций обмена сообщениями;

2) разработать систему, которая позволяет совместно использовать информацию, чтобы эволюционно развивать основной стандарт обмена сообщениями. Эти идеи реализуются с использованием инструментов MSSRT и BPCCS.

4.2. Оперативное планирование и управление интеллектуальным производством

Методология оперативного планирования и управления интеллектуальным производством (SMOPAC) фокусирует стандарты и теоретические знания об измерительных системах для поддержки интеграционных мероприятий на производстве. В рамках парадигмы SMOPAC интеллектуальные производственные системы определены как полностью интегрированные, совместные производственные системы, которые в режиме реального времени реагируют на меняющиеся требования клиентов и условия работы на заводе. Успех интеллектуальных производственных систем зависит от способности легко и быстро перенастраивать фабричное производство и сети снабжения для оптимизации производительности системы. Такие системы должны эффективно справляться с неопределенностью и ненормальными событиями и извлекать уроки из прошлого опыта, чтобы обеспечить постоянное улучшение.

Эти системы должны обеспечивать бесперебойную совместимость между малыми, средними и крупными производителями. Сложность общей задачи обусловлена:

- Сложные взаимодействиями системы, подсистемы и компонентов в интеллектуальных производственных системах делают трудным определение влияния роли каждого из компонентов на результат производственного процесса;
- Отсутствие единых процессов, которые управляют производственными операциями, интегрированными беспроводными технологиями, прогнозированием и диагностикой, а также кибербезопасностью на всех уровнях (от компонента к системе). Многие существующие решения в настоящее время являются собственностью и редко распространяются;
- Одновременная работа систем повышает сложность и понимание взаимосвязей информационных потоков.

План исследований в области оперативного планирования и управления интеллектуальным производством состоит из ряда взаимосвязанных проектов, которые сосредоточены на ключевых областях исследований:

- (1) цифровой поток,
- (2) интеграция системного анализа,
- (3) беспроводные системы,
- (4) кибербезопасность,
- (5) прогнозирование, управление здравоохранением и контроль.

В дополнение к пяти проектам испытательный стенд Умных производственных систем (Smart Manufacturing Systems SMS) предоставляет интегрированную среду тестирования и источник реальных производственных данных для внутренних и внешних исследователей. Уже разработана концептуальная основа для управления информацией жизненного цикла и интеграции появляющихся и существующих технологий, которые вместе составляют основу исследовательской программы динамического моделирования информации для поддержки обработки цифровых данных и их повторного использования в производстве. В совокупности эти действия обеспечивают комплексный подход, который ведет к новым отраслевым стандартам и практикам.

Задача создания интеллектуального производства не может быть решена без доступа к нужным данным в нужное время. В современной промышленной практике отсутствует представление информации о продукте и процессе в рамках функций жизненного цикла. В функциях проектирования не хватает информации о производственных процессах, которые будут использоваться для производства изделия. Производственным функциям не хватает понимания замысла инженера-проектировщика или результатов измерений на ранних этапах производства. Эта задача может быть решена при помощи методики, получившей название Цифровая «нить» для умного производства (Digital Thread for Smart Manufacturing), которая связана с обеспечением доступности семантически богатых данных о продуктах и процессах через открытые стандарты, определением качества данных, их сертификации и прослеживаемости, а также использованием достоверной информации для накопления знаний и принятия более эффективных решений.

Рисунок 4.3 иллюстрирует возможности для обмена информацией и интеграции части жизненного цикла изделия. Существуют также и стандарты, которые поддерживают интеграцию информации о продукте и процессе для систем, которые реализуют аналогичные функции.

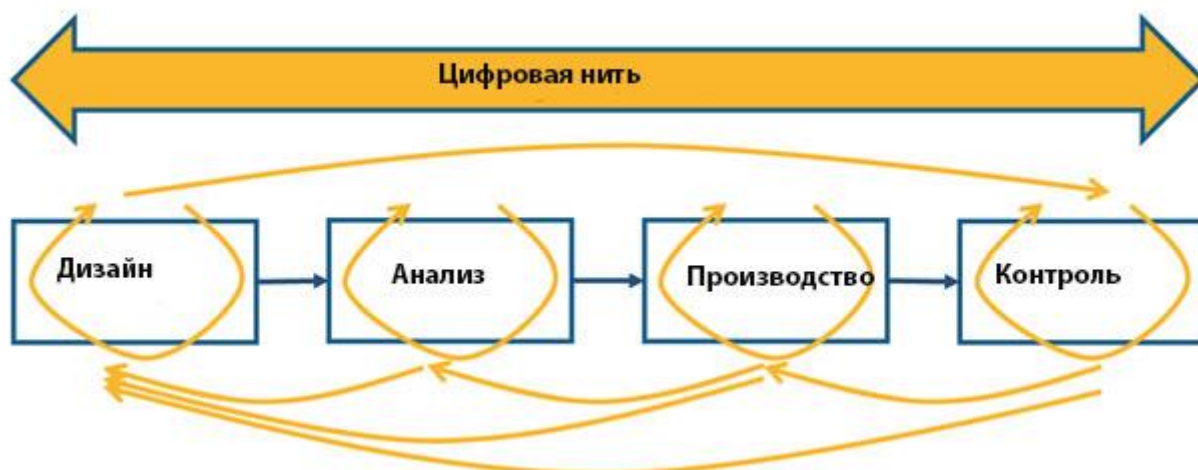


Рисунок 4.3. Информационные потоки, создаваемые цифровым производством

Примеры таких стандартов включают в себя все системы автоматизированного проектирования (CAD), все системы автоматизированного производства (CAM), все системы инженерного анализа (CAE) и все системы управления данными о продукции (PDM). Наиболее широко признанный из этих стандартов интеграции называется STEP. Другим таким стандартом является Информационная структура качества (QIF). Этот стандарт также направлен на поддержку интеграции разнородных систем, составляющих весь жизненный цикл продукта, с использованием открытых стандартов, позволяющих промышленности перейти от модельно-ориентированного проектирования к МВЕ. На основе этого стандарта в настоящее время исследователи анализируют рабочие потоки, чтобы узнать, какие данные характерны для разных моделей на разных этапах жизненного цикла. Эти общие элементы также поддерживают интерфейсы между системами. Такой методологический подход позволяет назвать интеграцию разнородных информационных моделей и этих дополнительных общих элементов общей информационной моделью.

Таким образом, основные усилия сейчас направлены на поддержку перехода от модельно-ориентированного проектирования к модельно-ориентированному предприятию посредством разработки новейшего прикладного протокола STEP ISO 10303-242: 2014 (AP242), возможности которого проиллюстрированы на рисунке 5. AP242 содержит вычисляемые представления для нескольких типов данных трехмерной (3D) модели, включая информацию о геометрических размерах и допусках. Эта информация передает конструктивные особенности и функциональные требования продукта на производство. Предполагается, что AP242 будет поддерживать всю информацию о продукте и производстве (PMI), необходимую для планирования производства и инспекции. Сейчас разрабатывается второе издание AP242, в котором будут

добавлены новые представления для электропроводки, кинематики и дополнительной информации о продукции.

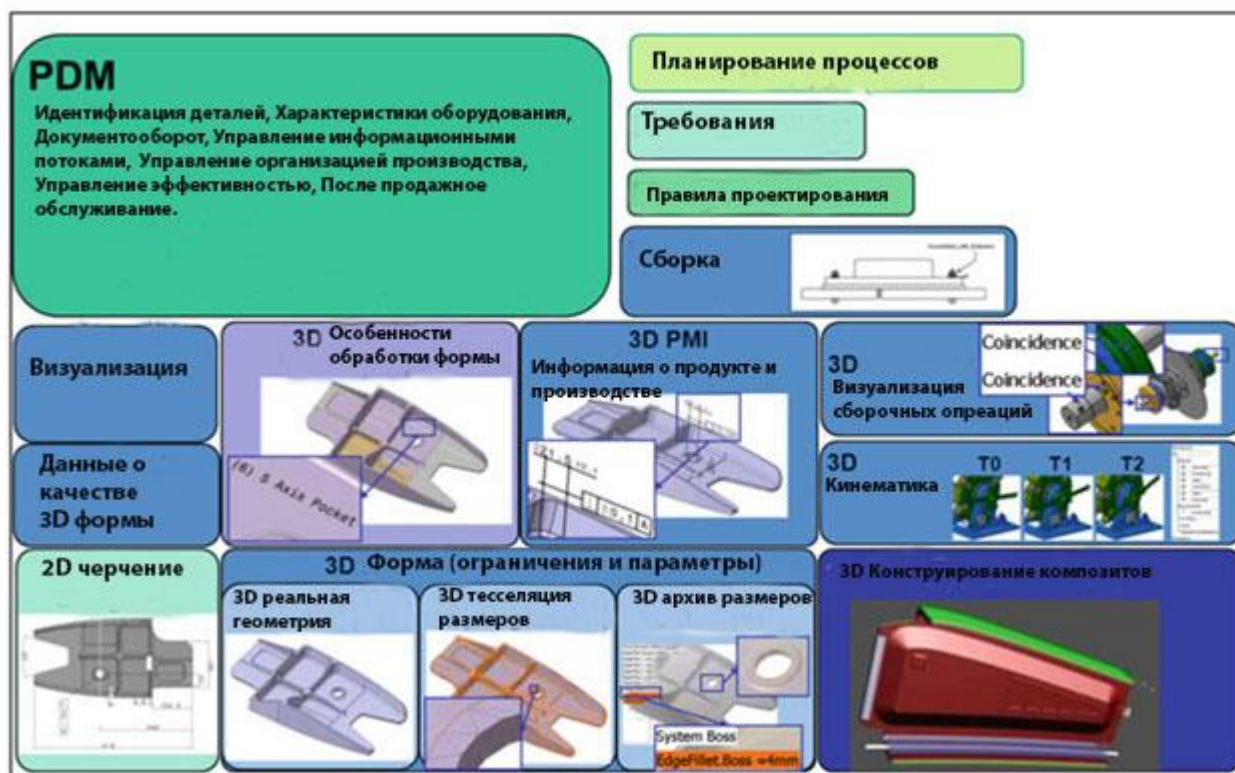


Рисунок 4.4. Возможности стандарта STEP AP242

Американский национальный институт стандартов (ANSI) недавно утвердил новую версию QIF v2.0 в качестве стандарта (DMSC 2015b). Это новое издание дополняет предыдущее издание, предоставляя полное и точное определение трехмерного продукта с семантическими геометрическими и размерными допусками, определениями для ресурсов измерения, шаблоном для правил измерения и статистической функциональностью. Эти новые возможности удовлетворяют потребности в цифровой совместимости для широкого спектра вариантов использования интеллектуального производства, включая основанную на характеристиках размерную метрологию, планирование измерения показателей качества, первую проверку изделия и дискретное измерение качества. Система управления качеством на большинстве современных заводов включает операции, основанные на технологиях, характерных для киберфизических систем. Эти передовые технологические системы необходимы для постоянного сбора и использования цифровых производственных данных. QIF определяет, организует и связывает эти данные с информацией об объектах более высокого уровня. Такие объекты включают в

себя планы измерений, результаты, геометрию детали, PMI, шаблоны измерений, ресурсы и статистический анализ.

4.3. Беспроводные системы для промышленной среды

Беспроводные системы для промышленной среды - интегрированная методология и протоколы для включения, оценки и обеспечения производительности беспроводных систем в промышленных условиях в реальном времени. Промышленная среда, такая как среда интеллектуального производства, требует разнообразных беспроводных технологий, обеспечивающих бесперебойную связь от сенсорных узлов с низким энергопотреблением к видеосвязи с высокой скоростью передачи данных. Такой подход ориентирован на основанные на стандартах беспроводные протоколы, используемые в промышленных условиях. Однако разработанные метрики, методология и рекомендации применимы и к проприетарным беспроводным протоколам.

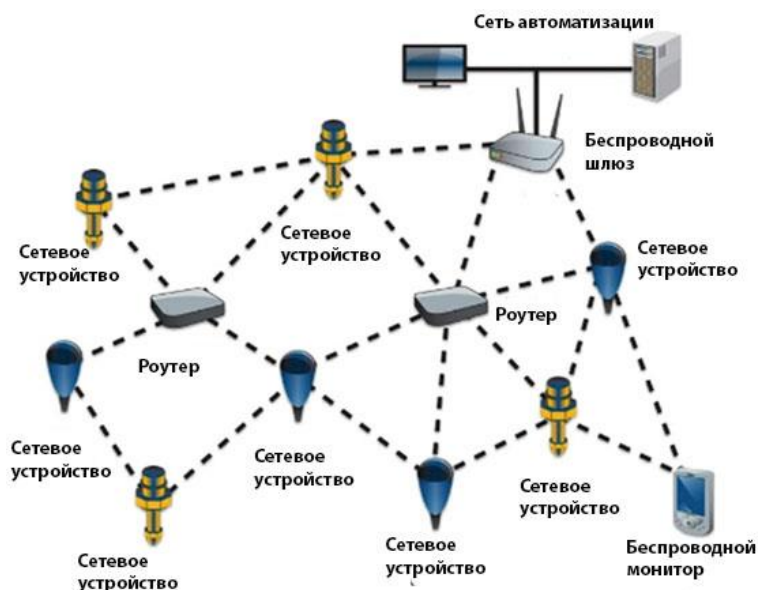


Рисунок 4.5 Беспроводная сенсорная сеть

Беспроводные сенсорные сети (WSN) являются ключевой технологией для промышленного интернета вещей. Как показано на рисунке 4.5, WSN — это интернет-сеть сенсорных узлов, которые совместно определяют и, возможно, контролируют окружающую среду автономно или совместно с персоналом в производственном цикле. Появление миниатюрных, более дешевых, надежных и маломощных датчиков позволяет использовать интернет вещей даже для самых маленьких объектов. Международная электротехническая комиссия (МЭК)

провела семинар для выявления проблем WSN для промышленного интернета вещей. Результаты семинара изложены в официальном документе, опубликованном МЭК. В документе подробно описывается фрагментарная и непересекающаяся среда стандартов для беспроводных сетей, а также подчеркивается необходимость расширения связи и координации между различными организациями по стандартизации, единого планирования, оптимизированного распределения ресурсов и сокращения повторения работы.

Оборудование на каждом уровне фабричной сети (фабричный уровень, уровень рабочей ячейки и уровень устройства) может использовать различные сетевые протоколы связи. Промышленность сталкивается с проблемой эффективного и действенного тестирования всех видов оборудования с различными сетевыми протоколами связи на разных сетевых уровнях. Для решения этой проблемы целесообразно использовать испытательный стенд для разработки и оценки показателей производительности операционных систем, оснащенный стандартными и нестандартными беспроводными технологиями. Ключевым вкладом беспроводного испытательного стенда должна являться методология, с помощью которой производительность беспроводной связи коррелирует с эксплуатационными характеристиками в тех случаях, когда беспроводные технологии используются для диспетчерского управления или управления с обратной связью. Такой подход можно охарактеризовать как соединение производительности информационных технологий (ИТ) с производственной технологией (ОТ).

Данные датчиков в реальном времени из WSN необходимы для принятия решений по управлению производственными процессами и мониторингу состояния. Однако беспроводная связь подвержена помехам и, следовательно, может влиять на критически важные производственные операции. Следовательно, необходимо разработать среду моделирования в испытательном стенде для беспроводных сетей, чтобы изучить, как различные конфигурации и топологии беспроводных сенсорных сетей влияют на производительность, включая безопасность, операций производственного предприятия. Как пример, можно привести моделирование работы химического завода с непрерывным процессом, когда выходной сигнал датчика соединен с беспроводной сенсорной сетью на основе IEEE 802.15.4 через программируемый логический контроллер. Интеграция моделируемой физической системы с реальной беспроводной сетью дает возможность исследовать влияние беспроводной связи в реальном времени на фабрике, на которой выполняются различные действия беспроводной связи, на моделируемые процессы предприятия.

В дополнение к пониманию того, как работают беспроводные технологии, такой подход помогает производителям принимать лучшие решения относительно беспроводных технологий. Полевые измерения и модели каналов используются для оптимизации не только выбора, но и их фактической

конфигурации на фабриках. Используя современные передовые методы RF (радиочастотного) зондирования, можно оценить распространение RF в нескольких реальных производственных цехах - один на базовом заводе, несколько в производственных центрах-партнерах и один в механическом цехе по субконтракту. Уровни помех необходимо измерять с использованием прецизионных анализаторов спектра, чтобы коррелировать помехи с событиями в помещениях цеха. Уровень распространения радиочастотных волн необходимо измерять с использованием высокоточного оборудования. Зондирующее оборудование собирает необработанную информацию о распространении радиочастотных волн, необходимую для вычисления статистических моделей каналов передачи данных. Большие объемы необработанных данных подвергаются последующей обработке для получения комплексных корреляций (импульсных откликов), которые учитывают потери при распространении сигналов в воздушной среде и искажения, которые возникают при сканировании сети.

Данные измерений RF будут интерпретироваться с использованием стандартных моделей каналов с точной параметризацией, необходимой для точной характеристики распространения RF на заводе. Модели каналов, необработанные данные импульсной характеристики и кривые частоты ошибок пакетов обеспечивают основу для подробного моделирования сети, интегрированного с моделями физических процессов. Эти интегрированные моделирования позволят исследователям изучить влияние радиочастотной среды и технологий беспроводных сетей на производительность физических процессов на предприятии.

4.4. Кибербезопасность для интеллектуальных производственных систем

Исследования в области кибербезопасности для интеллектуальных производственных систем направлены на количественное определение влияния кибербезопасности на производительность, использование ресурсов, надежность и безопасность интеллектуальных производственных систем в режиме реального времени. Здесь можно выделить две исследовательские задачи:

- разработка комплексных требований и вариантов использования, которые представляют практические подходы кибербезопасности для реальных потребностей;
- разработка набора конкретных тестов, которые измеряют влияние технологии кибербезопасности.

Для исследований целесообразно построить испытательный стенд для обеспечения кибербезопасности в интеллектуальной производственной системе и реализации методов тестирования, которые анализируют влияние предлагаемых защитных мер и контрмер как на сетевую, так и на эксплуатационную

производительность. Эти методы должны соответствовать передовой практике и требованиям, предписанным национальными и международными стандартами и руководствами, такими как NIST Special Publication 800-82. На рисунке 4.6 показан физический дизайн испытательного стенда кибербезопасности, который включает в себя процесс химического реактора и процесс роботизированной сборки, которые являются двумя ключевыми областями в производстве. На следующем этапе развертывания данного испытательного стенда будет установлен транспортный анклав.

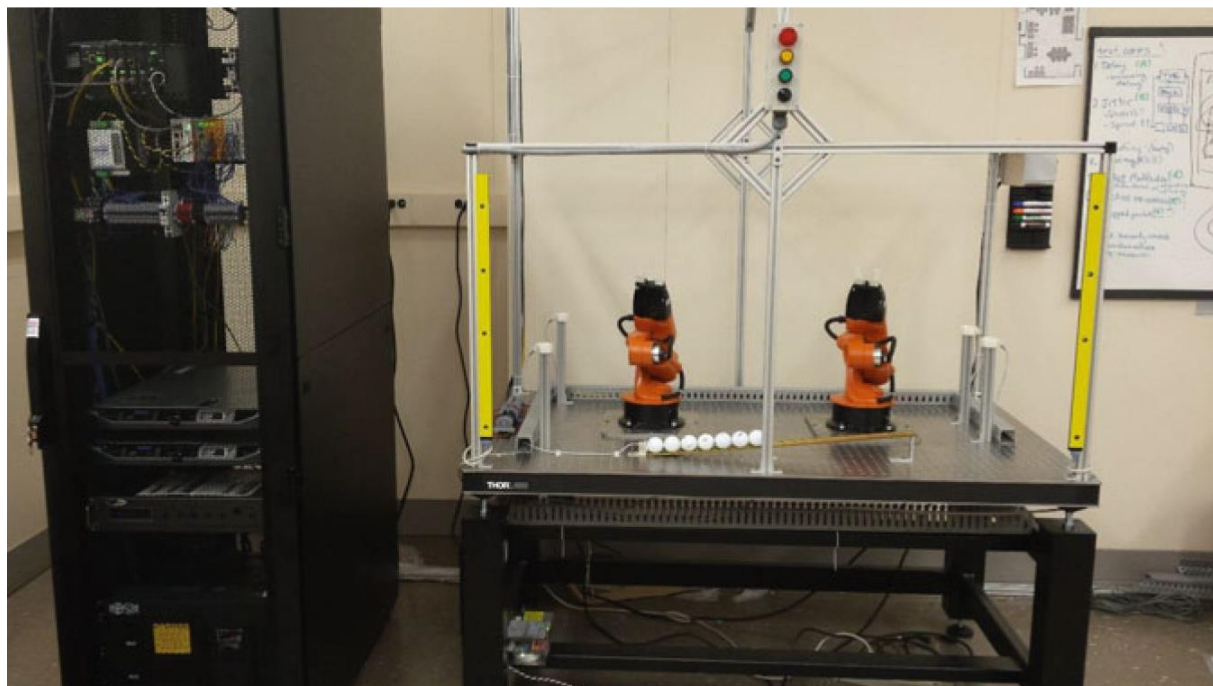


Рисунок 4.6 Производственный роботизированный анклав

Сообщества кибербезопасности создали множество стандартов представления и обмена данными. Эти стандарты направлены на устранение недостатков и уязвимостей, а также регламентируют следующие важные аспекты функционирования киберфизических систем: порядок использования доменных имён, контроль состояния системы, создание контрольных списков конфигурации, порядок идентификации активов и оценки уровня качества программного обеспечения и конфигурирования систем. Основная задача заключается в разработке производственной реализации профиля кибербезопасности Cybersecurity Framework (CSF). Профиль производственной кибербезопасности необходимо тестировать на испытательном стенде кибербезопасности интеллектуальной производственной системы с использованием различных решений кибербезопасности для измерения любого влияния сети на производительность. На основе этого исследования, соответственно, необходимо разработать рекомендации по внедрению CSF в

производственных средах без негативного влияния на производительность систем.

Несмотря на значительный прогресс, достигнутый в описанных выше областях, существуют некоторые новые тенденции, которые потребуют дальнейших исследований и разработок. Эти тенденции включают в себя:

- Рациональная разработка требований к компонентам промышленного интернета вещей. Выявление, анализ и информирование о требованиях сложных производственных систем по-прежнему остается серьезной проблемой. Быстрое и правильное выполнение этих задач внесет значительный вклад в успех инициатив в области производственных инноваций;

- Динамика взаимодействующих многодоменных систем. Необходимо больше исследований в области математического моделирования нескольких областей и анализа их динамического взаимодействия. Это требует, чтобы люди с различными предметными знаниями сотрудничали и создавали новые знания и инструменты;

- Визуализация и интеграция персонала. Значительное увеличение количества данных в производстве требует интеллектуальных инструментов визуализации, которые позволят правильно интегрировать людей в сложные системы;

- Доступное решение для малых и средних предприятий. Снижение стоимости покупки и обучения в сложных инженерных информационных системах становится серьезной проблемой даже в технологически развитых странах;

- Проверка и тестирование композитности и композиционности. Необходимо использовать всё больше и больше инструментов для автоматизации процесса проверки и тестирования сложных систем, так как они составлены и интегрированы в более крупные системы.

Вопросы для самопроверки:

1. Какие основные стандарты по созданию «умног» производства существуют в настоящий момент?

2. Почему аналитическое моделирование не подходит для решения задач современного производства?

3. Для чего необходима система предиктивного анализа на производстве?

4. Для чего внедряются интеллектуальные системы на производстве?

5. Какие требования предъявляются к беспроводным сенсорным промышленным сетям?

6. Какие основные тенденции в области интеллектуализации производства?

Список литературы

1. ASTM (2016) ASTM E60.13 sustainable manufacturing. <http://www.astm.org/commit/subcommit/E6013.htm>
2. Barkmeyer E, Christopher N, Feng S, Fowler J, Frechette S, Jones A, Scott H (1996) SIMA reference architecture, part 1: activity models. National Institute of Standards and Technology, NISTIR 5939
3. Bernstein W, Mani M, Lyons K, Morris K (2016) An Open web-based repository for capturing manufacturing process information. In: ASME 2016 international design engineering technical conferences and computers and information in engineering conference
4. Bock C, Barbau R, Narayanan A (2014) BPMN profile for operational requirements. *J Object Technol* 13(2):2:1–2:35
5. Bock C, Matei I, Barbau R (2015) Integrating physical interaction and signal flow simulation with systems engineering models. NAFEMS World Congress, San Diego, CA
6. Candell R, Lee K (2015) Measuring the effect of wireless sensor network communications on industrial process performance. In: 2015 ISA process control and safety symposium, Houston, TX
7. Candell R, Lee K, Proctor F (2015a) Software-defined radio based measurement platform for wireless networks. In: International ieee symposium on precision clock synchronization for measurement, control and communication 2015, Beijing, China
8. Candell R, Zimmerman T, Stouffer K (2015b) An industrial control system cybersecurity performance testbed. National Institute of Standards and Technology. NISTIR 8089
9. Choi S, Jung K, Kulvatunyou S, Morris K (2016) A survey of existing technologies and standards: design and operation of a smart manufacturing system. *J Res Natl Inst Stan*
10. Chui M, Löffler M, Roberts R (2010) The internet of things. *McKinsey Quarterly*
11. CPS (2015) Public Working Group. <http://www.cpspwg.org/>
11. Denno P, Blackburn M (2015) Using semantic web technologies for integrating domain specific modeling and analytical tools. *Procedia Comput Sci* 61:141–146
12. Denno P, Kim D (2015) Integrating views of properties in models of unit manufacturing processes. *Int J Comput Integr Manuf*. doi:[10.1080/0951192X.2015.1130259](https://doi.org/10.1080/0951192X.2015.1130259)
13. IIC (2016) Industrial internet consortium. <http://www.iiconsortium.org/>
14. Shin J, Kulvatunyou B, Lee Y, Ivezic N (2013) Concept analysis to enrich manufacturing service capability models. *Procedia Comput Sci* 16:648–657

Третьяков Сергей Дмитриевич
Андреев Юрий Сергеевич

Промышленный интернет вещей

Учебное пособие

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Подписано к печати

Заказ №

Тираж

Отпечатано на ризографе

Редакционно-издательский отдел
Университета ИТМО
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49