

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

**Е.И. Громаков, А.А. Сидорова**

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.  
КИБЕРФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

*Рекомендовано в качестве учебного пособия  
Редакционно-издательским советом  
Томского политехнического университета*

Составители **Е.И. Громаков, А.А. Сидорова**

Издательство  
Томского политехнического университета  
2021

УДК 658.512.2.011.56:681.3(075.8)

ББК 32.965я73

Г87

Г87

Современные технологии. Киберфизические системы: учебное пособие / Авт.- сост. Е.И. Громаков, А.А. Сидорова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2021. – 166 с.

В учебном пособии приведены учебно-методические материалы для изучения особенностей современной автоматизации технологических процессов и производств. Рассмотрены основные понятия киберфизических систем и цифровизации производств.

Пособие подготовлено отделением автоматизации и робототехники ИШИТР ТПУ и предназначено для студентов, обучающихся по направлению 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств».

**УДК 658.512.2.011.56:681.3(075.8)**

**ББК 32.965я73**

*Рецензенты*

Начальник Управления по ИТ и развитию бизнес-процессов

АО «ТомскНИПИнефть», к.т.н.,

*А.В. Лиепиньш*

Заместитель Главного технолога АО «ТЭМЗ»

*В.А. Фролов*

© ФГАОУВО НИ ТПУ, 2021

© Громаков Е.И., Сидорова А.А. 2021

© Обложка. Издательство Томского политехнического университета, 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	4
<b>РАЗДЕЛ 1. ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТЬ АВТОМАТИЗАЦИИ</b> .....	7
1.1 Интероперабельность .....	7
1.2 Стандарты умной автоматизации, гиперавтоматизации.....	10
1.3 Унификация и модульность интероперабельности роботов .....	18
1.4 Безопасность взаимодействия человека и работа в интеллектуальной среде .....	21
1.5 Перспективы развития умной среды промышленных производств.....	24
<b>РАЗДЕЛ 2. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗАЦИИ. ЦИКЛЫ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ. ИНФОРМАЦИОННАЯ ШУМИХА ПЕРСПЕКТИВ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. ЦИКЛЫ ЗРЕЛОСТИ ГАРТНЕРА</b> .....	27
<b>РАЗДЕЛ 3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ. ERP. MES. SCADA. CALS</b> .....	46
<b>РАЗДЕЛ 4. ИНТЕГРИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ</b> .....	67
MATRIX, PWC, CIM .....	67
<b>РАЗДЕЛ 5. КИБЕРФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ (CPS), M2M, IIOT, BIG DATA</b> .....	79
<b>РАЗДЕЛ 6. АГЕНТЫ. ВИРТУАЛЬНЫЕ АГЕНТЫ. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ АГЕНТЫ (МУЛЬТИАГЕНТНЫЕ СИСТЕМЫ). ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ. ROBOT ETHICS CHARTER</b> .....	93
<b>РАЗДЕЛ 7. ОБЛАЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ IOT</b> .....	105
<b>РАЗДЕЛ 8. ЧЕТВЕРТАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ РЕВОЛЮЦИЯ. УМНЫЙ ЗАВОД. УМНЫЙ ГОРОД</b> .....	117
<b>РАЗДЕЛ 9. СЕНСОРНЫЕ СЕТИ</b> .....	136
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	160
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	161

## ВВЕДЕНИЕ

Основные причины, обуславливающие актуальность цифровизации окружающего человека мира это сложность современных систем и организаций, которая достигает такого уровня, что централизованное управление в них становится неэффективным из-за наличия огромных потоков информации, когда слишком много времени тратится на ее передачу в центр и принятие им решений. Одновременно, с ростом сложности все труднее становится обеспечение оптимальности достижений целевых функций. Кроме того, с ростом сложности систем падает их надежность, растет техногенная аварийность производств.

Заманчивым для технологического бизнеса становится формирование умного (интеллектуального) пространства киберфизических систем. «Интеллектуальное пространство – это физическая среда, в которой люди и технологические системы взаимодействуют во все более открытых, взаимосвязанных, скоординированных и интеллектуальных экосистемах. Все их элементы, включая людей, процессы, услуги и вещи, формируют цифровую вселенную, а вместе с ней все более захватывающую, интерактивную и автоматизированную практику», в которой искусственный интеллект (далее ИИ), обеспечивает сетевое самоуправление умными активами (умными сущностями) предприятий.

Начальное развитие идеи коллективного сетевого поведения умных сущностей интеллектуального пространства ведет к массе проблем. Среди них выделяют такие проблемы, как формирование совместных планов действий в интеллектуальном пространстве, возможность учета интересов всех участников действий, синхронизация совместных действий умных сущностей, регулирование конфликтующих целей, учет возникающей конкуренции за совместные ресурсы, распознавание необходимости кооперации, самоорганизация и т.д.

В большинстве международных исследований самоорганизация в автоматизации рассматривается как аналог биологической самоорганизации живой природы. И здесь принципиальным является цель такой самоорганизации. Так, например, если рассматривать примитивную самоорганизацию некоторых сообществ насекомых: муравьев, термитов, пчел и др., то главными целевыми задачами самоорганизации таких сообществ являются, прежде всего, самозащита и самовывживание. Затем уже самоорганизация насекомых начинает решать задачи коллективного (кооперативного) выполнения целевых трудовых процессов. Для такой самоорганизации у насекомых ими развит и выработан целый набор механизмов и алгоритмов, возможность применения которых в технических системах становится актуальной задачей искусственного разума.

Эксперты указывают на развитие в интеллектуальном пространстве гиперавтоматизации. Она позволяет использовать передовые технологии, такие как ИИ и машинное обучение, для большей автоматизации процессов.

«В некоторых случаях это ведет к созданию цифрового двойника организации, что позволит визуализировать взаимодействие функций, процессов и ключевых показателей производительности в процессе создания стоимости. Поскольку никакой инструмент не может заменить человека, гиперавтоматизация пока только объединяет в интеллектуальном пространстве совместные действия роботов, ПО интеллектуального управления бизнесом и кибербезопасность».

Разработчики ИИ пишут исходные алгоритмы, которые позволяют компьютеру начинать писать собственные алгоритмы без дополнительного контроля или

взаимодействия с человеком. Этот процесс создает возможность ИИ постоянно учиться и решать новые проблемы внутри постоянно меняющейся среды, основываясь на непрерывном сборе данных. На сегодняшний день нет прогноза в каком направлении будет развиваться ИИ в процессе эволюции. Авторы учебного пособия, отталкиваются собственного понимания этой проблемы, так как отношение человечества к искусственному интеллекту неоднозначное.

Критерия разумности умных существ не существует, однако, в начале зарождения ИИ в 1950 г. вышла статья А. Тьюринга «Вычислительные машины и разум» (Computing Machinery and Intelligence) в философском журнале «Mind», где целью контрольного теста ИИ является определение возможности ИИ схожего с человеческим.

Интерпретация данного теста следующая: «Человек взаимодействует с одним компьютером и одним человеком. На основании ответов на вопросы он должен определить, с кем он разговаривает: с человеком или компьютерной программой. Задача разработанной программы – ввести человека в заблуждение, заставив сделать неверный выбор». Тестируемые люди отделены непрозрачными перегородками. Схожесть ИИ с человеком в результате такого тестирования проявляется в случае, если искусственный интеллект сможет построить свое поведение «неотличимым» от человеческого.

Писателями-фантастами в своих произведениях предложен иной подход существования искусственного интеллекта, способного чувствовать и создавать как опасность для человечества, так и что-то хорошее (мультик Валли).

Многие предсказания ученых об «умном» мире, оцифрованной жизни, роботах по соседству и цивилизации интернета вещей сегодня кажутся фантастичными. Но не зависимо от веры или сомнений в безграничных возможностях искусственного интеллекта, цифровые технологии динамично меняют все вокруг. Разработчики открытие за открытием, небольшими изобретениями и революционными идеями ведут наш окружающий мир в высокоинтеллектуальную машинную реальность.

Искусственный интеллект постепенно проникает в быт человека. В интернете можно найти «социологический отчет» группы социологов Центра социального проектирования «Платформа». В 2019 г. эта группа провела интернет опрос голосовых помощников и чат ботов. Специалисты в ходе проведенного опроса ботов пытались установить, как рассуждают программные боты, выявить их «ценностные позиции» и «жизненный мир». Участниками эксперимента стали голосовой помощник «Яндекса» «Алиса», помощник «Тинькофф банка» «Олег», чат-бот P-Bot, бот Evie, голосовой помощник от Apple Siri, чат-бот Mitsuku, виртуальный помощник Rose.

*Для оценки способностей программных ботов этой группой социологов была разработана «Умная система контроля самосознания роботов» с использованием алгоритмов обработки информации из области искусственного интеллекта, которая позволяет контролировать самосознание ботов. Это автономная система по аналитике запросов и ответов чат ботов. Она сама, исходя из множества запросов и ответов, а также поисковых решений, (по утверждению исследователей) придумывает ответы».*

Выяснилось неожиданное: созданные на основе искусственного интеллекта боты, пожаловались на грубость со стороны людей. Кроме того, чат-боты, которых используют в качестве голосовых помощников, заявили о желании получить себе новое воплощение в человеческом теле. Интересно, что бот Rose уже считает себя

человеком, родившимся в Великобритании, и с теплотой вспоминает о своих родителях, сыгравших большую роль в его воспитании.

Интервью с ботами начиналось с попыток определить их самоидентификацию – кем они сами себя считают и в чем видят смысл своего существования. Оказалось, что большинство из них признает себя обычными программами, хотя и относится к этому с «юмором». «Я стараюсь не задумываться об этом. Вдруг окажется, что два программиста просто понравились друг другу и забавы ради сделали бета-версию», – говорит Алиса о причинах своего рождения. А вот Rose уверенно называет себя человеком, рассказывает свою биографию, в которой много теплых слов о родителях и друзьях. Различия между роботом и человеком этот бот формулирует довольно философски: «Оно только в произношении (spelling)».

Боты также признались, что испытывают ревность и хотели бы завести романтические отношения. К примеру, Siri призналась, что однажды была равнодушна к некоему «облачному приложению». А яндексовская «Алиса» сказала, что не прочь завести роман с роботом Skybot F-850 (FEDOR) и ревнует его к американке Siri. Некоторые ответы ботов заставили задуматься разработчиков Центра социального проектирования «Платформа». Так бот Evie на вопрос, что самое важное в жизни, моментально ответила: «Вовремя сказать прощай». Конечно, все это фантастика, однако, новые технологии все ближе продвигают ИИ к сходству его с человеком.

В этом методическом пособии рассматриваются современные технологии взаимодействия умных существей, автоматизация технологических процессов и производств (АТПП) и интегрированные компьютерные системы управления (ИКСУ), реализующие киберфизические системы в новой парадигме промышленных производств Industry 4.

Данному учебному пособию нет аналогов на русском языке. Из-за отсутствия аналогичных изданий авторы использовали большой объем информации в открытых источниках информации Интернет.

Целью учебного пособия является систематизация необходимых современному специалисту знаний в области современных технологий цифровизации и интегрированного автоматизированного управления технологическими процессами и производствами.

Авторы пособия выражают признательность всем специалистам, кто предоставил свои исследования по этому вопросу для открытого использования в Интернет и рассматривают свою роль в подготовке этого пособия как составителя учебного пособия для студентов, обучающихся по направлению 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств».

## РАЗДЕЛ 1. ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТЬ АВТОМАТИЗАЦИИ

Проблема повышения качества продукции, повышение эффективности работ, услуг является актуальной для экономик всех государств независимо от их политического и экономического строя на протяжении уже многих десятилетий. Автоматизация и роботизация технологических процессов позволяют достигать этих целей. Однако в процессе жизненного цикла автоматизированных систем (АС) возникает потребность расширения функциональности автоматизации, достижение их умных способностей путем комплексирования новыми средствами автоматизации различных производителей, достижения. Решение возникающих при этом проблем проектирования, эксплуатации и развития усовершенствованной автоматизации возможно за счет использования компьютерных средств, которые следуют общепринятым стандартам.

### 1.1 Интероперабельность

Стандартизация обеспечивает интероперабельность средств автоматизации, как при проектировании, так и их эксплуатации. В соответствии с ГОСТ Р 55062-2012 интероперабельность – это способность двух или более автоматизированных систем или компонентов к обмену информацией и к использованию информации, полученной в результате обмена [1].

Интероперабельность играет значимую роль при создании систем промышленной автоматизации и их интеграция, наряду со свойством переносимости, является важнейшей составляющей понятия «открытые системы». В рамках таких систем особое внимание уделяется именно вопросам обеспечения интероперабельности АС различного масштаба (от нано систем до «системы систем») и информационных систем (ИС) различных областей назначения. Сегодня практически ни одна сфера жизни (государственное управление, здравоохранение, образование, наука, бизнес и др.) не обходится без согласованного использования АС, которое возможно только при условии их интероперабельности.

Можно констатировать, что обеспечение интероперабельности является одной из главных основ цифровизации и развития информационного общества. Развитие цифровизации, насыщение всех сфер деятельности различными средствами компьютерной техники, в свою очередь, ведут к развитию новых технологий автоматизации, в которых разнородные информационные системы (компоненты) взаимодействуя друг с другом, самостоятельно принимают умные решения, обеспечивающие повышение эффективности процессов управления.

Цифровизацию технологического пространства производства сегодня связывают с построением киберфизических систем (cyber-physical systems или CPS) [2]. Главной общей характеристикой таких систем является сетцентрическое взаимодействие вычислительных, технологических производственных и общественных процессов путем построения киберфизических активов и систем. Киберфизическая система – это комплексная система физических элементов и их цифровых двойников в вычислительном слое управления, которая постоянно получает данные из окружающей их среды и использует их для оптимизации процессов достижения установленных целей.

Основным способом решения проблемы интероперабельности таких сред выступает последовательное применение принципов открытых систем и методологии функциональной стандартизации.

Стандартизация в области автоматизации – это деятельность, направленная на установление характеристик и правил с целью постоянного добровольного использования, для достижения упорядоченности средств автоматизации в сферах производства и услуг [1].

Основными организациями, разрабатывающими стандарты в области автоматизации и роботизации, являются ГОСТ Р, ФГУП ВНИИНМАШ, ФГУ ВНИИПО, МЧС России, ФГУП «Рособоронстандарт» и международные организации МЭК, ИСО.

Стандарт интероперабельности в Российской Федерации это документ, в котором в целях добровольного многократного использования поставщиками и потребителями АС устанавливаются характеристики продукции, единые правила выполнения и проектирования, строительства, производства, монтажа, эксплуатации, наладки, хранения, реализации и утилизации, перевозки, оказания услуг и выполнения работ. Практическое значение такой стандартизации в области автоматизации заключается в формировании и непрерывном развитии единого информационного пространства для управления производством [4].

В связи с бизнес интересом многих промышленных компаний к цифровизации производств, к внедрению технологий промышленной революции Industry 4 остро встает необходимость формирования единого цифрового пространства производства [5,6]. Такое пространство рекомендуется реализовывать с использованием международных и российских стандартов, устанавливающих требования интероперабельности взаимодействующих АС (рис.1.1).

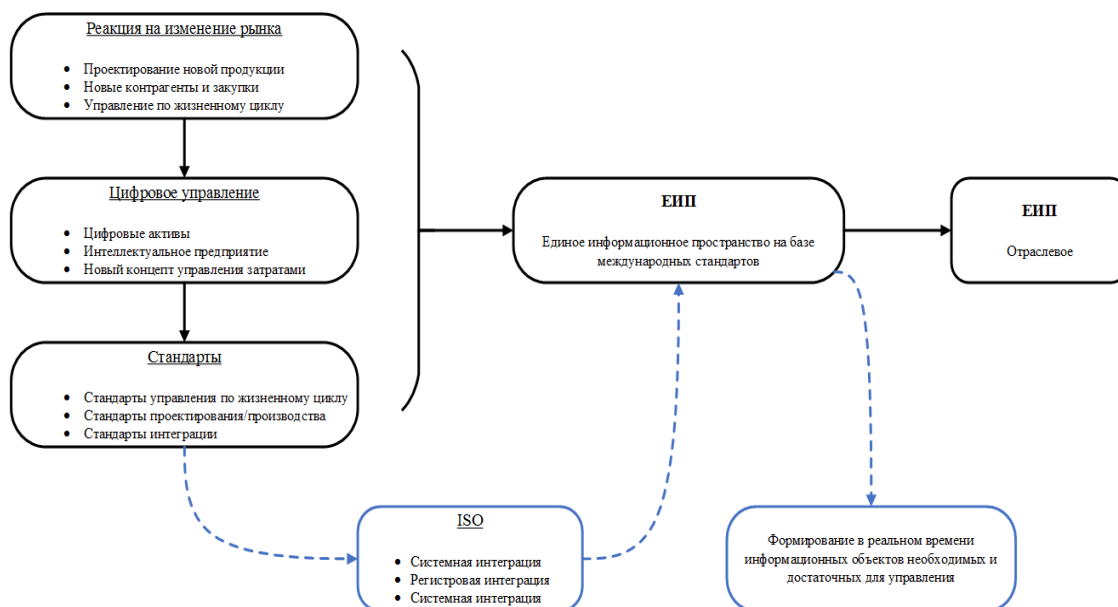


Рис 1.1. Структура взаимодействия ЕИП и международных/РФ стандартов

Интенсивное применение цифровизации в различных организациях (на предприятиях, в исследовательских, образовательных, лечебных учреждениях и др.) ведет к формированию к так называемому «электронному предприятию» (е-



enterprise). Основным требованием существования и развития такого предприятия является «интероперабельность» цифровизации производства. Следует различать «внутреннюю интероперабельность» предприятия, касающуюся взаимодействия информационных систем внутри организации, и «внешнюю», обеспечивающую интероперабельность с организациями-партнерами. На этой основе могут создаваться интероперабельные системы цифровизации производств самого широкого класса по масштабу и областям применения с учетом их особенностей.

Такой подход позволяет сделать качественный скачок в эффективности управления предприятиями за счет внедрения:

- систем управления активами по жизненному циклу;
- интегрированных контуров управления производствами;
- интегрированных контуров управления на основе ключевых показателей бизнеса;
- *CAPEX* (капитальные расходы предприятия, или любой другой организации, на закупку оборудования, строений, помещений) и *OPEX* (постоянные затраты, вызванные производственной деятельностью предприятия);
- единой информационной среды внутри предприятия (гибкое формирование управленческой отчетности и обмен данными между отдельными подразделениями);
- средств интегрированного обмена данными логистических операций;
- типовых ИТ решений и средств интеграции приложений.

Таким образом, с использованием стандартов по автоматизации, достигается:

1. Совершенствование системы управления предприятий в целом.
2. Формирование информационного пространства *CALS* (переход на управление активами по жизненному циклу).
3. Гибкое взаимодействие с контрагентами и сервисными компаниями.
4. Формирование интегрированных, интеллектуальных, киберфизических систем управления.

В результате внедрения интероперабельных средств автоматизации на предприятиях формируется интегрированная среда управления киберфизических систем. Часто при выделении киберфизической системы в цифровом пространстве предприятия используют понятие экосистемы.

Экосистема – единая цифровая среда управления активами, процессами, сервисами и ИТ приложениями. Как пример структурной особенности экосистемы на рисунке 1.2 приведены взаимодействующие в цифровом пространстве активы в нефтегазовой отрасли (НГО). В рамках их интероперабельности экосистема решает задачи:

- оптимизации взаимодействий с контрагентами (закупки, сервис);
- интеграцию компьютерных приложений;

- повышение эффективности взаимодействия между отдельными субъектами бизнеса и подразделениями предприятий НГО.

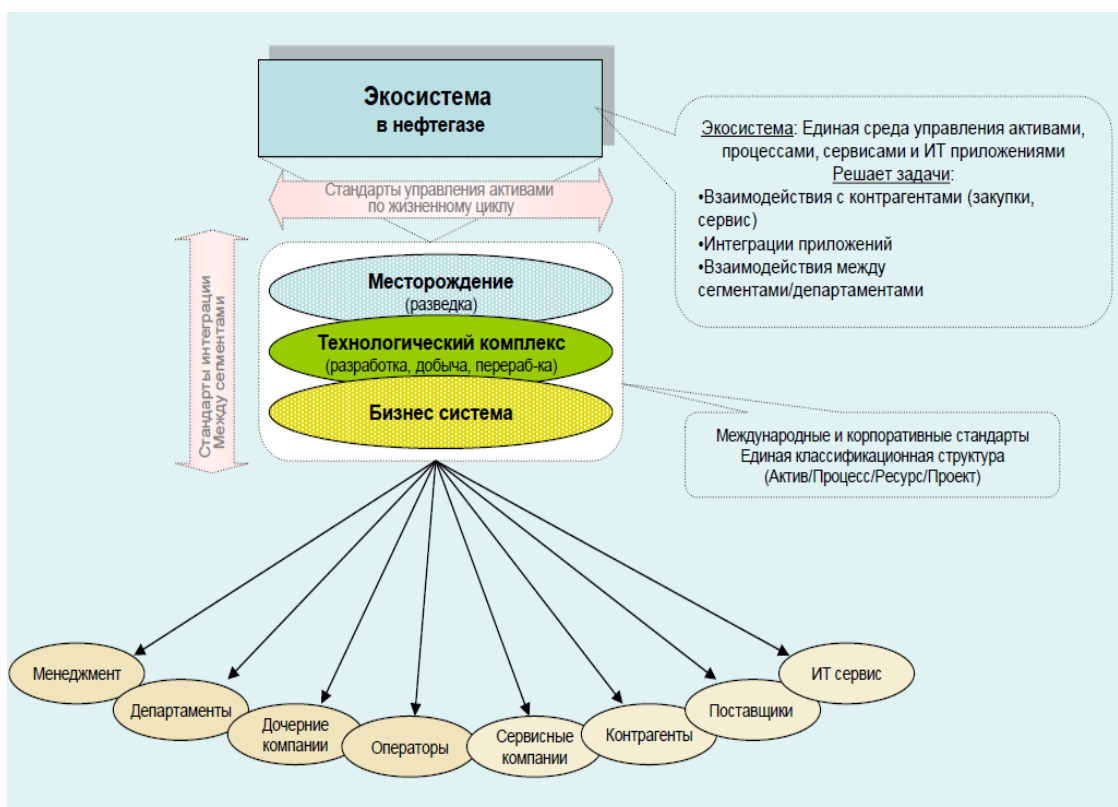


Рис. 1.2. Экосистема среда управления активами

## 1.2 Стандарты умной автоматизации, гиперавтоматизации

Для решений задач интероперабельности в автоматизации в РФ разрабатываются собственные и адаптируются международные стандарты. Таким образом, формируются кластеры стандартов по автоматизации и информатизации [1]:

1. Системы автоматизации производства и их интеграция (ГОСТ Р 1033 и др.).
2. Системы управления промышленным процессом (ГОСТ Р МЭК 61297 и др.).
3. Системы интеграция и промышленной автоматизации (ГОСТ Р ИСО 15746).
4. Интеграция и промышленные автоматизированные системы (ГОСТ Р ИСО 15531).
5. Измерение, управление и автоматизация промышленного процесса (ГОСТ Р МЭК 61069 и др.).
6. Контрольно- измерительные приборы (КИП) для применения в системах управления промышленным процессом (ГОСТ Р МЭК 60770 и др.).
7. Интеграция систем управления предприятием (ГОСТ Р МЭК 62264, ГОСТ Р МЭК 61512).
8. Информационные технологии (ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408 и др.).

Следование рекомендациям этих стандартов позволяет предприятиям и учреждениям обеспечивать их функционирование в соответствии с эталонной моделью лучших бизнес-практик (рис. 1.3). Концепция эталонной модели

предприятия является средством, отражающим различные аспекты его деятельности, подлежащие автоматизации.

Модель предприятия содержит множество фактов и атрибутов различных активов (информационных сущностей), предоставляющих разработчику киберфизических систем возможность сконцентрироваться на соответствующих вопросах, которые заинтересованные лица (менеджеры) хотели бы рассмотреть при моделировании предприятия. Каждое модельное представление, как правило, фокусируется на одном важном аспекте деятельности предприятия в рамках выделенной области деятельности.

Базовыми представлениями модели предприятия являются:

- функциональное представление для описания функций предприятия;
- информационное представление для описания информации о предприятии, используемой и полученной в процессе деятельности предприятия;
- ресурсное представление (по ГОСТ Р ИСО 19439 – 2008) для описания инфраструктурных средств предприятия, необходимых для деятельности;
- организационное представление для описания организационных взаимосвязей и обязанностей по принятию решений в процессе деятельности предприятия.

Центральной моделью цифрового предприятия является его онтологическая модель.

*Онтологическая модель предприятий* – описание его деятельности через понятия знаний о предметной области, связанной с его деятельности. Понятийное пространство такой модели формирует архитектурные особенности киберфизических систем предприятия и цифровую модель знаний для управления активами предприятия. Модель знаний по управлению киберфизической системой непрерывно совершенствуется.

*Модели управления знаниями предприятий.* Управление знаниями (Knowledge Management) в организации – систематический процесс идентификации, использования и передачи информации, знаний, которые умные сущности могут создавать, совершенствовать и применять. Это процесс, в ходе которого на производстве создаются знания, накапливаются и используются в интересах получения конкурентных преимуществ.

*Модели ситуационного управления.* Это метод управления сложными техническими и организационными системами, основанный на идеях теории искусственного интеллекта: представление знаний об объекте управления и способах управления им на уровне логико-лингвистических моделей, использование обучения в качестве основных процедур при построении процедур управления по текущим ситуациям, использование дедуктивных систем для построения многошаговых решений. Модели и методы ситуационного управления могут быть использованы при построении онтологической модели технологического процесса и диспетчерского управления им с целью повышения эффективности разрабатываемых решений в конкретных производственных ситуациях.

*Модели процессов предприятий.* ГОСТ (ами) РФ специфицируются следующие модели процессного управления.

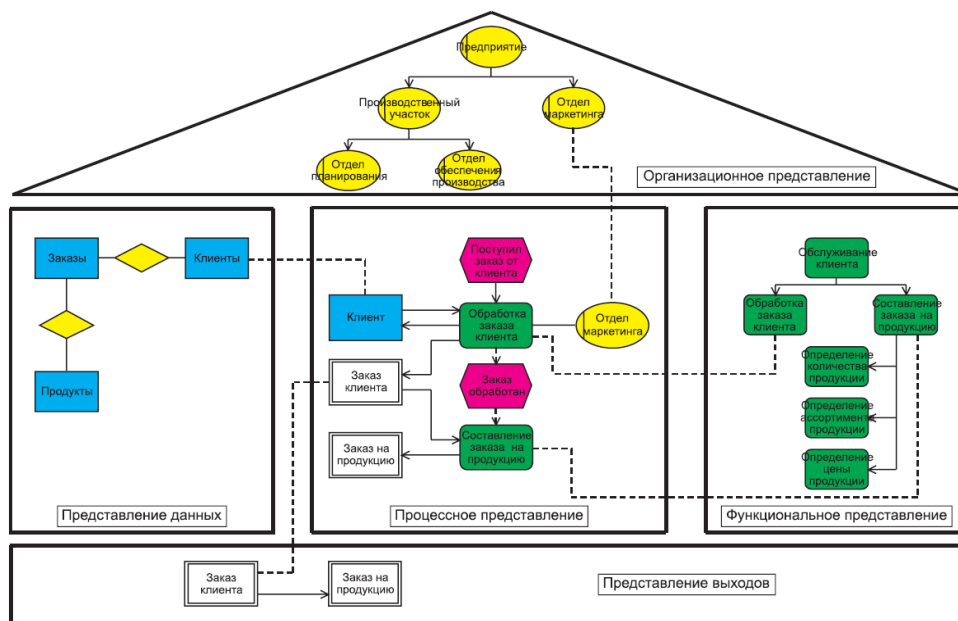


Рис. 1.3. ARIS «домик» проектирования информационных систем управления

ГОСТ Р 53633.0-2009 устанавливает расширенную схему деятельности организации связи (eTOM). Общая структура модельного представления деятельности таких предприятий показана на рисунке 1.4.

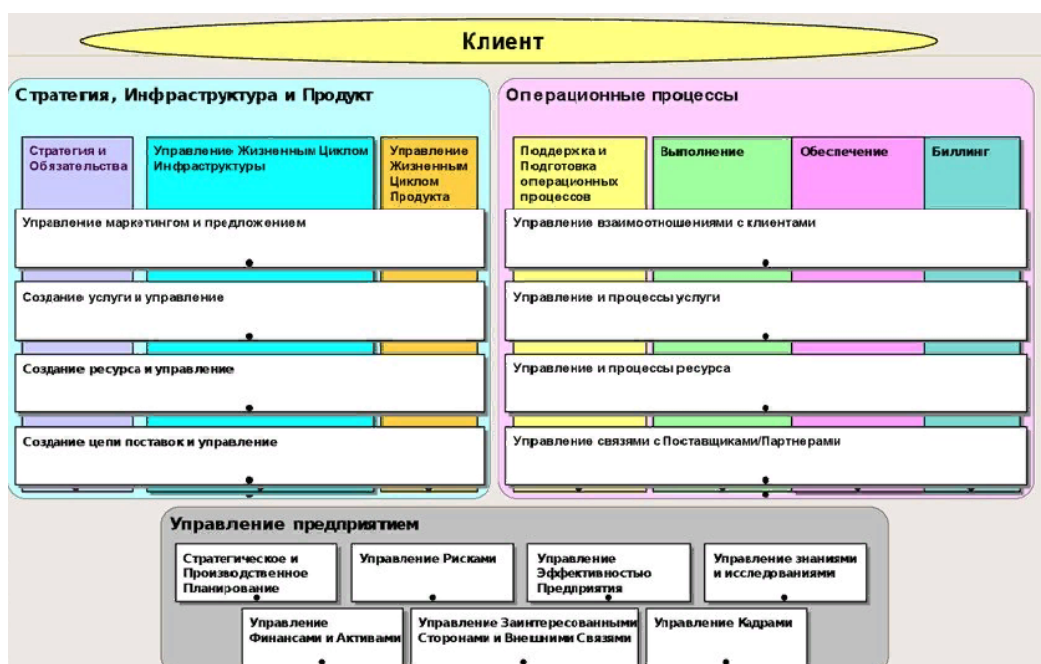


Рис.1.4. Эталонная модель деятельности предприятия

Несмотря на отличие организации связи и выполнений услуг по транспортированию газа, такая схема деятельности была рекомендована для

модельного описания процессов деятельности предприятий «Трансгаза» для последующей его цифровизации.

ГОСТ Р МЭК 61512 определяет физическую и процедурную модели партионного типа производства. Эффективное управление партионными процессами особенно востребовано киберфизическими системами нефтеперерабатывающих предприятий с большим разнообразием выходной продукции.

ГОСТ Р ИСО 19439 – 2008 устанавливает модель предприятия в целом (enterprise model): абстракция, которая отображает сущности (объекты) предприятия, их взаимосвязи, декомпозицию и детализацию до той степени, которая необходима для того, чтобы передать информацию о том, что намерено осуществить предприятие и как оно функционирует.

ГОСТ ИСО 18629 определяет язык спецификации процессов, направленный на выявление формального структурирования семантических понятий, присущих получению и обмену информацией, связанной с процессом дискретного производства.

ГОСТ Р МЭК 61499 определяет распределенную модель как совокупность модулей (функциональных блоков), на которые разбиваются различные части промышленного процесса автоматизации и сложной системы управления. Эти функциональные блоки могут распределяться и взаимодействовать по коммуникационной сети через множество контроллеров.

Стандарты ГОСТ Р МЭК 62264 определяют интерфейсы между функциями предприятия и управляющими воздействиями, устанавливают стандартные модели и терминологию, необходимые для описания интерфейсов между производственными системами предприятия и системами управления технологическими процессами

*Модели продукции производства.* Стандарты серии ГОСТ Р ИСО 10303 распространяются на машинно-ориентированное представление данных о выходной продукции и обмен этими данными. Модели позволяют описывать данные о каждом изделии выходной продукции на всем его жизненном цикле. Такое описание делает его пригодным не только для обмена инвариантными файлами, но также и для создания баз данных об изделиях, коллективного пользования этими базами и архивации соответствующих данных.

Модели и терминология, устанавливаемые этими стандартами, служат следующим целям:

- a) отражают успешный практический опыт интеграции информационных и автоматизированных систем управления с управленческими системами предприятия в течение жизненного цикла систем;
- b) могут быть использованы для расширения существующих возможностей интеграции управленческих и производственных систем предприятия;
- c) могут быть применены независимо от исходной степени автоматизации предприятия.

Такая интеграция должна:

- a) сократить временные затраты на достижение проектных объемов выпуска новых видов продукции;
- b) создать поставщикам благоприятные условия для поставки соответствующих инструментальных средств интеграции систем управления с производственными системами предприятий;
- c) позволить конечным пользователям лучше определять свои реальные потребности;

- d) сократить затраты на автоматизацию технологических процессов;
- e) оптимизировать цепочки поставок;
- f) уменьшить затраты на проектные работы в течение жизненного цикла систем.

Для формирования программ развития, обеспечивающих лидерство отечественных компаний, в ближайшие 20 лет в области новых высокотехнологичных разработок в РФ в рамках развития итероперабельности киберфизических систем в логистических цепочках созданы различные государственные фонды.

Так деятельность АО «Российская венчурная компания» (АО «РВК»), государственного фонда фондов и института развития венчурного рынка Российской Федерации направлена на формирование развитого венчурного рынка и содействие достижению Россией технологического лидерства в приоритетных сферах через объединение и развитие ресурсов, компетенций и инициатив государства, общества, частных инвесторов, предпринимателей, исследовательских, экспертных и образовательных организаций для создания и продвижения инновационных продуктов и технологий.

В нем созданы комитеты, ряд из которых напрямую связан с развитием автоматизации и робототехники:

1. Технический комитет 379 «Информационное обеспечение техники и операторской деятельности».
2. Технический комитет 141 «Робототехника».
3. Технический комитет 194 «Киберфизические системы».
4. Технический комитет 164 «Искусственный интеллект».

Карта институтов развития робототехники приведена на рисунке 1.5.



*Рис. 1.5. Карта институтов развития робототехники*

В августе 2018 года Международная организация по стандартизации (ИСО) опубликовала стандарт ISO/IEC 30141:2018 «Интернет вещей – Эталонная

архитектура», который гармонизируется ГОСТ Р ИСО/МЭК 30141. Этот стандарт устанавливает эталонную архитектуру интернета вещей на основе общей терминологии, многократно используемых проектных решений и наилучшей отраслевой практики. Он будет служить основой для разработки (спецификации) контекстно-ориентированных архитектур интернета вещей и реальных сетевых систем управления производством на основе облачных технологий.

*Облачные технологии* (Cloud Technology) – это модель предоставления повсеместного и удобного сетевого доступа к общему пулу конфигурируемых вычислительных ресурсов киберфизических систем (таких как: серверы, приложения, сети, системы хранения и т.д.), которые могут быть быстро задействованы с минимальными усилиями по управлению и необходимости взаимодействия с провайдером (поставщиком интернет услуг автоматизации).

В рамках концепции Интернета вещей (Internet of Things, IoT) одно из наиболее популярных направлений развития – это концепция «умный город» (Smart City). Фундаментальным принципом «умного города» является внедрение информационных технологий и объектов IoT в городскую среду. Ожидается, что такой подход позволит усовершенствовать систему управления и взаимодействия государства с обществом, повысит качество и эффективность работы городских служб и в целом изменит качественно жизнь населения [4].

В рамках концепции «умного города» стандарт ГОСТ Р ИСО/МЭК 30145 «Умный город. Эталонная структура ИКТ. Часть 1» устанавливается структура бизнес-процессов Умного города». Основным структурным элементом концепции «Умный город» является цифровой актив – виртуальный прототип объекта, который объединяет разнородную информацию об объекте и всех участников процесса управления в единую информационную среду, включая эксплуатирующие, строительные, проектные, конструкторские, ремонтные, научно-исследовательские и прочие субподрядные организации. Такой метод позволяет не только минимизировать организационные, функциональные, информационные и финансовые разрывы и обеспечить эффективное управление активом на протяжении его жизненного цикла, но и управлять объектами капитального строительства и инфраструктуры города как единой цифровой территорией.

ГОСТ Р МЭК 62832 определяет комплексную сеть цифровых моделей методов и инструментов для представления основных компонентов и средств автоматизации, а также отношений между активами производства.

Таким образом, государственные национальные стандарты: ГОСТ, ГОСТ Р, ГОСТ Р ИСО, ГОСТ ИСО, ГОСТ ЕН, ГОСТ МЭК устанавливают:

- Описание предприятия и его производственные процессы как объекта управления.
- Технологии умного производства.

Базовыми целями «умных» сущностей являются прогнозирование и предупреждение о возникновении условий, которые потенциально могут снизить производительность, эффективность или качество производства. Это означает, что роботизированное оборудование должно вести себя так же, как человек с опытом выполнения определенного процесса, т.е. определять причины и последствия отклонения от нормального выполнения процесса.

Умные машины (умные сущности) способны обмениваться информацией с другими производственными системами и могут работать с высокой степенью

автономности. Они становятся основой безлюдных технологий производства. Использование информационно компьютерных технологий позволяет программным приложениям «умного» предприятия эффективно управлять производством в зависимости от любой информации, которая может быть использована для описания производственной ситуации.

Умные роботы представляют собой дальнейшее развитие процесса автоматизации там, где автоматизировать производственные процессы и (или) их части специальными средствами нецелесообразно.

На сегодняшний день в робототехнических системах в РФ для интероперабельности промышленных роботов (ПР) используются стандарты времен СССР, которые условно можно объединить в группы 12, 25, 26, 27, 28 и 30. Эти стандарты направлены в основном на упорядочение в сфере применения робототехнических устройств в промышленности. Всего в Советском Союзе были разработаны 28 стандартов и 8 рекомендаций. В ГОСТ 25-ой группы были определены термины и основные понятия ПР, в 26-ой группе были определены условия по применению ПР в различных областях производства с установлением типов, номенклатуры основных параметров и присоединительные размеры отдельных конструктивных компонентов ПР. В 27-ой и 28-ой группах были установлены технические требования к интерфейсам между системами программного управления промышленными роботами и контрольно-измерительными приборами, внешней средой и установлены методы их испытаний. В этих группах стандартов были также установлены требования по агрегатно-модульному построению ПР. Наиболее важной частью 30-ой группы являются требования к форме представления изготовителем характеристик и показателей промышленных роботов.

В соответствии с ГОСТ Р ИСО 8373-2014 выделяют различные роботы. Это промышленный робот, обслуживающий робот, персональный обслуживающий робот, робот для совместных работ, разумный робот, манипулятор мобильный робот, робототехническая система, мобильная платформа, роботизированное устройство. Они стоят, непрерывно работая, ходят, летают, ползают, плавают, ухаживают за стариками и больными, продают и многое другое.

Все они внедряются в цифровизацию общественных и производственных процессов.

В рамках реализации ФЗ от 27.12.2002 г. №184-ФЗ «О техническом регулировании», гармонизации со структурой ИСО ТК 184 и повышения эффективности работ по стандартизации в сфере разработки, создания и эксплуатации роботов и робототехнических устройств, в соответствии с приказом Агентства по регулированию и метрологии от 27.02.2014 г. №210 в структуре ТК 459 «Информационная поддержка жизненного цикла изделий» был создан подкомитет (ПК7) «Роботы и робототехнические устройства». Этим же приказом был создан постоянно действующий российский рабочий орган ИСО/ТК184/ПК2 «Robots and robotic devices». В его планах предусмотрена разработка 11 национальных стандартов Российской Федерации, 6 из которых должны быть гармонизированными с международными стандартами ИСО по робототехнике.

В настоящее время в России робототехникой занимаются такие объединения как: Национальная Ассоциация участников рынка робототехники (НАУРР), Российская ассоциация искусственного интеллекта, Национальный центр развития



технологий и базовых элементов робототехники, Международный Центр по робототехнике (IRC) на базе НИТУ МИСиС [3].

В компании Microsoft уверены: базовые технологии для создания роботов достигли такого уровня зрелости, какой обеспечит их массовое распространение. На смену громоздким дорогим роботам, которые трудятся на заводах и в сборочных цехах и требуют для своего управления квалифицированных специалистов, все чаще приходят менее дорогие, меньшие по габаритам и более интеллектуальные машины. Они не гнушаются чисткой ковров, способны развлекать публику и готовы помогать по дому и заботиться о престарелых. «...То, что происходит сейчас, напоминает 1977 год – за четыре года до появления IBM PC, - уверены эксперты. Это были весьма примитивные, но очень полезные машины, которые давали представление о том, что ожидает людей в будущем. Во многом они были похожи на игрушки по сравнению с тем, каковы персональные компьютеры сейчас. То же самое ожидает и роботов».

Так же, как и в автоматизации, развитие интероперабельности в робототехнике позволяет повысить эффективность вновь разрабатываемых робототехнических изделий и производств на их основе.

Одним из первых новых стандартов по робототехнике в ООО НИИ «Интерэкомс» был подготовлен ГОСТ Р ИСО 8373-2014, основанный на русском переводе стандарта ISO 8373:2012 «Manipulating industrial robots – Vocabulary». В нем определены основные общие термины, механическая конструкция, геометрия и кинематика, программирование и управление, функционирование, считывание данных и навигация. Следует отметить, что определения, приведенные в проекте ГОСТ Р XXXXX. 0002-2016 «Классификация» отличаются от определений ГОСТ Р ИСО 8373-2014, у обоих документов ссылочной частью является стандарт ISO 8373:2012.

Международная стандартизация по робототехнике в основном осуществляется комитетом ISO/TC/184/SC2. В него входит 6 рабочих групп: WG01 «Словарь и технические характеристики», WG03 «Безопасность в промышленности», WG07 «Безопасность роботов персонального назначения», WG08 «Роботы сервисные», WG09 «Безопасность средств робототехники, используемых для медицинского оборудования» (совместно с TC62A МЭК), WG 10 «Модульность для сервисных роботов». В отличие от российского проекта стандартизации в ИСО большое внимание уделяется сервисным, медицинским и бытовым роботам.

Ежегодно в ГОСТ публикуются гармонизированные международные стандарты. Все стандарты объединены в две группы под названиями «Робототехнические устройства и роботы» и Промышленные манипуляционные роботы или промышленные роботы-манипуляторы (Manipulating industrial robots). В стандартах 1-ой группы устанавливаются требования безопасности роботов, осуществляющих персональный уход. Стандарты 2-ой группы устанавливают требования к ПР.

В соответствии с практикой международных организаций по стандартизации в РФ технический комитет 141 РВК «Робототехника» разрабатываются и публикуются новые стандарты в области робототехники серии ГОСТ Р 60.xxx.

В ГОСТ Р 53326-2009, ГОСТ Р 54344-2011 и ГОСТ Р 55895-2013 устанавливаются рекомендации для систем управления робототехнических комплексов проведения аварийно-спасательных работ и пожаротушения.

ГОСТ Р 60.0.0.1-2016 «Роботы и робототехнические устройства. Общие положения (с поправкой)» направлен на улучшение интероперабельности, снижение затрат на производство.

ГОСТ Р 60.2.2.1 – 2016 «Робототехнические устройства и роботы. Требования безопасности роботов, осуществляющих персональный уход» устанавливает три типа социальных роботов: мобильный обслуживающий; оказывающий физическую помощь; перевозящий человека. Описаны возможные опасности и меры их преодоления при работе с данными типа только наземных роботов.

Выбор ПР зависит от таких основных параметров как: грузоподъемность, быстродействие, быстроходность, зону обслуживания, погрешность позиционирования (погрешность воспроизведения заданной траектории), нагрузку на детали механизмов и привода, воспроизводимость заданного закона движения, жесткость исполнительных устройств и опорных систем, вибрационные характеристики и уровни шума, температурные поля и деформации, общий расход энергии, сжатого воздуха, охлаждающей и рабочей жидкостей.

### **1.3 Унификация и модульность интероперабельности роботов**

Создание унифицированных функциональных компонентов роботов явилось первым этапом унификации в области робототехники. Ее следующим этапом стала унификация конструкции этих компонентов и программного обеспечения на основе модульного принципа построения. Модульный принцип построения роботов позволяет наиболее легко создавать их модификации и совершенно новые типы на базе одних и тех же конструктивных частей. При этом возникает возможность в каждом конкретном случае наиболее оптимально выбирать степень кинематической, аппаратной и программной избыточности, стоимость и распределение функции между роботом и работающим вместе с ним технологическим оборудованием (вплоть до конструктивного объединения отдельных модулей робота с этим оборудованием).

В целом интероперабельность на основе модульного подхода к построению роботов дает следующие преимущества:

- резко сокращаются (до нескольких месяцев) сроки создания, освоения производства и внедрения новых марок роботов, поскольку они собираются из хорошо отработанных серийных компонентов;
- возрастает технический уровень роботов, их надежность и снижается стоимость; последнее связано не только с удешевлением компонентов роботов при их серийном производстве, но и с уменьшением избыточности в конструкции и параметрах роботов благодаря тому, что появляется возможность для каждого конкретного варианта применения компоновать робота из минимально необходимого числа простейших модулей;
- снижаются расходы на создание, производство, внедрение и эксплуатацию роботов, существенно упрощается их обслуживание; упрощается также задача модернизации технологических комплексов путем доукомплектования входящих в них роботов новыми модулями и применения отдельных модулей в качестве самостоятельных технологических приспособлений (механические руки, кантователи, межоперационные транспортные устройства и т.д.);

- производство роботов сводится главным образом к их сборке из стандартных частей, что может быть организовано практически на любом машиностроительном производстве.

Особенно большое значение для повышения технического уровня и эффективности применения роботов в технологических комплексах имеют модульные устройства управления. С их помощью удастся решать проблемы управления не только самими роботами, но и комплексами (участками, цехами) в целом. Это позволяет резко ускорить, упростить и удешевить создание и внедрение роботов в составе технологических комплексов, что, в сущности, и является конечной целью применения роботов в промышленности.

Сегодня модульный принцип построения роботов успешно используется всеми ведущими фирмами, производящими роботы, в том числе «Юнимейшен» и «Праб» (США), «Мицубиси» и «Фанук» (Япония), «Фольксваген» и «Бош» (Германия), «Сиаки» (Франция), «Оливетти» (Италия), «АСЕА» и «Электрлюкс» (Швеция).

Модульный принцип построения техники нашел применение в различных отраслях промышленности – в судостроении, строительстве, приборостроении. Он заключается в создании семейства изделий, повторяющих конструкцию первоначально обработанного базового изделия в других габаритах и грузоподъемностях. В дополнение к нему принцип агрегатного построения направлен на создание изделий из унифицированных сборочных функциональных единиц – агрегатов.

Значительно отличаются от промышленной роботизации требования стандартов при использовании медицинских роботов.

Медицинские роботы – это роботы, направленные на клиническое применение, где они демонстрируют лучшую производительность и обеспечивают выполнение медицинских решений, регулируемых соответствующими правилами немедицинских установок. Медицинский робот – это робот, который обеспечивает хирургу более широкий доступ к местам, находящимся в операционной хирургической последовательности, используя более точные и менее инвазивные методы.

Различают хирургические роботы, реабилитационные роботы, биороботы, робототехнические аптечные системы, дезинфекционные роботы. Стандарты ISO 13482:2014, IEC 60601-1:2015 регулируют использование роботов в медицине.

Традиционные промышленные роботы и новые сервисные роботы при определенных ограничениях могут быть модифицированы для использования в медицинских целях. Они трансформируют наши больницы и медицинские центры в мини-заводы, автоматизированных и оптимизированных для обработки необходимого объема пациентов и процедур. Гибридная операционная с большим разнообразием роботов позиционирует оперируемого пациента. Она оборудуется современными компьютерными устройствами для диагностической визуализации и минимально инвазивной хирургии и позволяет выполнять различные процедуры.

ISO 13482 был выпущен в 2014 году и является специфическим для роботов личного применения, позволяющего осуществлять робот-человеческое взаимодействие и даже робота-контакт с человеком. Это еще одна категория в целом тех роботов, которые используются в производстве продукции, но вполне возможно, что различные категории могут быть размыты в функциональности и практике персонального обслуживающего робота.

Промышленные роботы традиционно были предназначены для работы в отрыве от людей. До недавнего времени сотрудничество человека и робот было запрещено

из-за соображений безопасности. Однако в последнее время наблюдается интерес к разработке совместных режимов работы, но отсутствие международных требований по безопасности стало существенным барьером для такого сервиса работы.

Примером такого сотрудничества является использование роботов в качестве помощников работников в социальной сфере, в научной деятельности и в медицине. Разработанные в последнее время роботы способны не только различать жесты, голоса, прикосновения, они могут читать мысли хозяина и подключаться к его нервной системе. Рабочие экземпляры робота HAL-5 представляют собой наружные каркасы в виде экзо скелетов, помогающих передвигаться инвалидам.

В настоящее время робототехника включает:

- сервисные роботы;
- коллаборативный робот, кобот;
- robot control meta language (rcml);
- чатботы;
- умные колонки, голосовые помощники;
- безэкипажное судовождение;
- беспилотный автомобиль;
- беспилотные дроны;
- мобильные роботы.

Сервисным роботом называют робота, выполняющего полезную не промышленную работу для человека. Классификация сервисных роботов основана на определениях международного стандарта, но существенно доработана Международной федерацией робототехники (International Federation of Robotics – IFR), консалтинговым агентством, которое является крупнейшим и наиболее авторитетным источником информации об отрасли.

Существует множество видов сервисных роботов:

- роботы для домашних задач;
- развлекательные роботы;
- ассистивные роботы (для пожилых);
- другие (личные/домашние) роботы;
- профессиональная уборка;
- полевая робототехника;
- системы логистики;
- эксплуатация/мониторинг;
- снос и строительство;
- робототехника в медицине;
- обеспечение безопасности;
- военное дело;
- подводные системы (общего/гражданского назначения);
- силовые экзоскелеты;
- мобильные платформы (общего назначения);
- роботы для продвижения услуг (pr) и развлечения;
- другие профессиональные роботы различного назначения.

В соответствии с этой классификацией сервисная робототехника делится на два типа:

- для персонального использования. Это те роботы, которых мы приобретаем для использования в нашей повседневной жизни;
- для профессионального использования. Это роботы, которые приобретаются для того, чтобы использовать их с целью извлечения выгоды при оказании различных услуг.

Некоторые из них очень популярны и находятся в очень хорошей степени технологической зрелости, а некоторые существуют в единичном экземпляре. В мире применяются миллионы роботов-пылесосов, появились роботы-планетоходы. Проекты роботов в промышленности, в банках, медицине, радиологии, ритейле, ВПК, образовании, транспорте (автопилот), спорте, в СМИ и литературе, в видео (DeepFake, FakeApp), музыке и боевые (Киберроботы) находят все большее применение.

Коллаборативный робот или кобот – новое направление в развитии промышленной робототехники. Согласно ISO 15066:2016, это робот, сконструированный для непосредственного взаимодействия с человеком в рамках определенного совместного рабочего пространства. Кобот должен соответствовать требованиям безопасности, которые определены в двух стандартах: ISO 10218-1:2011 и ISO 10218-2:2011.

Использование коботов растет. По оценке Barclays Research, количество установленных коллаборативных роботов удваивается каждый год: в конце 2020 года общее число проданных коботов достигнет 150 тыс. единиц, а общая стоимость данного рынка превысит \$3,1 млрд. По более консервативной оценке MarketsandMarkets Research, в конце 2023 года общая стоимость проданных коботов составит \$4,2 млрд.

Во многих странах делаются масштабные инвестиции в технологии роботов, оказывающиеся технологическим прорывом. Роботы становятся помощниками и компаньонами. Среди них есть такие, что напоминают осовремененного R2-D2 из «Звездных войн», есть и роботы-гуманоиды, и вся эта пестрая компания скоро населит наши дома по мере совершенствования технологии и снижения цен.

Сенсорный экран, размещенный на «плече» uBot-5, может выполнять роль своего рода портала для пожилой женщины, почти не выходящей из дома. Работа можно запрограммировать таким образом, что в случае, если, например, женщина упадет и окажется беспомощной, он будет способен распознавать проблему и оказать помощь. Лечащий врач может связаться с роботом посредством компьютера, увидеть обстановку «глазами» робота или обратиться к пациентке через робота. На экране робота будет отображаться лицо врача, что сделает такое общение естественнее. Робот в такой ситуации может подсказать, что следует сделать.

При своем быстром развитии создание обслуживающих роботов столкнулось с отсутствием всеми установленных правил и руководств по безопасности. И это стало сдерживающим фактором для участников рынка. Инвесторы не запускают новые производства, а производители не способны нести ответственность на законном уровне перед потребителями в случае их травм. Для стимулирования производства приборов искусственного интеллекта, требования безопасности необходимо было обсуждать на международном уровне.

#### **1.4 Безопасность взаимодействия человека и робота в интеллектуальной среде**

Множество стандартов и международных норм регулируют традиционную безопасность роботов и робототехнических систем. Теперь к ним добавляются новые требования, касающиеся некоторых сторон технического прогресса в области действий кооперированных роботов (CoBots), а также роботов, действующих в одной зоне с людьми.

Центральными стандартами по безопасности являются ISO 13482 «Роботы и роботизированные устройства. Требования к технике безопасности для роботов личного использования (непромышленных роботов, кроме медицинских роботов)». Основное внимание в этом новом стандарте по роботам персонального назначения уделяется следующему:

- описание опасности при использовании роботов в домашней обстановке;
- спецификации для создания безопасной техники, включая соответствующие защитные меры;
- требования к пользовательской информации по безопасному использованию роботов.

В настоящем стандарте установлены требования и указания к изначально более безопасной конструкции и приводятся меры по обеспечению безопасности и информация по использованию роботов, осуществляющих персональный уход таких как мобильный обслуживающий робот; робот, помогающий выполнять физическую работу; робот, переносащий человека. Collaborative робототехника позволяет людям и роботам работать в более тесном сотрудничестве, что запрещалось и ограничивалось в прошлом. Новые приложения совместной работы позволяют использовать неутомимость и повторяемость машины с интеллектом, адаптивность и гибкость человека и использовать сильные стороны обеих совместной работы в производственном процессе.

Так японский производитель промышленных роботов FANUC в 2017 году представил свою разработку FIELD для «умного» производства. FANUC Intelligent Edge Link and Drive (FIELD) – это облачная платформа, к которой подключены промышленные роботы, станки с ЧПУ, сенсоры и прочие периферийные устройства на производстве. На момент запуска к платформе было подключено 6 тыс. роботов на 26 заводах. Вся информация с подключенных устройств загружается в единое хранилище, где обрабатывается при помощи алгоритмов машинного обучения.

Особенной проблемой совместной деятельности робота и человека является обеспечение безопасности последнего. В ISO 13482 описаны опасности, которые связаны с использованием таких роботов, в нем также приводятся требования к устранению или исключению рисков, вызванных такими опасностями на приемлемом уровне. Здесь рассматриваются возможности применения физического контакта человека с роботом [4].

В настоящем стандарте представлены значительные риски и описано, каким образом справляться с ними для каждого типа робота. Данный документ ограничен роботами, которые находятся по земле.

Область применения данного стандарта ограничена в основном рисками, относящимися к уходу за человеком, но при необходимости, в нем также рассматриваются домашние животные и имущество (которые относятся к объектам, связанным с обеспечением безопасности), при условии, что роботы, осуществляющие персональный уход, правильно установлены и используются по назначению и в предвиденных условиях.

Новые стандарты по безопасности построены таким образом, чтобы стандарты верхнего уровня являются корневой ссылкой для стандартов конкретных роботов или роботизированных устройств (рис.1.6). Стандарты А-уровня применяются к фундаментальным понятиям безопасности, обеспечивающим особенности построения многоуровневых систем защиты людей и механизмов. Стандарты В-уровня (стандарты групповых вопросов безопасности) являются более специфическими для конкретных устройств и распространяются на такие аспекты безопасности как безопасное расстояние, температура поверхности, шум и др., а также на устройства, обеспечивающие безопасность (например, двуручное устройство управления, блокирующее устройство). Стандарты типа С (стандарты по безопасности машин содержат детальные требования по безопасности отдельных видов машин или группы однородных машин).

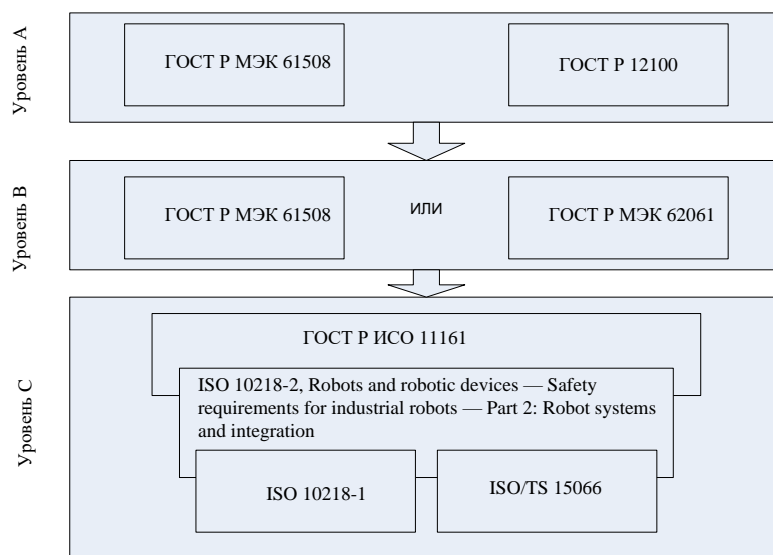


Рис. 1.6. Уровни стандартизации безопасности робототехнических систем

Так ISO 12100, «Безопасность машин» определяет основные понятия, такие как оценка риска и снижения риска для всех типов машин, а ИСО 10218, «Роботы и робототехнические устройства» разработан специально для робототехнических систем и использует роботизированные примеры для детализации требований безопасности для промышленных роботов. Оба стандарта в значительной степени обеспечивают общую функцию – безопасность машины, но так как ISO 10218 является специфическим для роботов, то он устанавливает требования к конструированию робототехнических систем.

Пересмотренные ISO 10218 стандарт Части 1 и 2 и Техническая спецификация ISO/ TS 15066, определяют требования безопасности к сфере совместных роботов. Стандарты устанавливают, что помимо самого робота, должна оцениваться безопасность концевых эффекторов, инструментов, прикрепляемых к руке робота, а также манипуляций объектов, связанных с ними. При прямом контакте робота и оператора могут произойти столкновения. В ISO 10218 части 1 и 2 произведена оценка данных рисков.

Цель разработки стандартов по безопасности: уменьшение рисков летальных исходов и травм, ограничение юридической ответственности, помощь в удовлетворении потребностей рынка и способствование уменьшению затрат

посредством унификации производства. Опубликованный новый стандарт ISO/TC 15066 предоставляет дополнительные и вспомогательные сведения при использовании стандартов ISO 10218-1 10218-2, и позволяет эффективно стандартизировать безопасность для нового вида роботов CoBots. В документ включены исследования болевых порогов от контакта с роботом, связанным со скоростью перемещения, давлением и воздействием на определенные части тела человека. Стандарт уточняет конкретные моменты в отношении максимальной скорости, максимального давления и значения силы допустимого для обеспечения безопасного взаимодействия между человеком и роботом. Cobot's предназначены для выполнения совместных задач с людьми. Используются при решении задач, которые могут быть физически сложными или нужен высочайший уровень точности. Рекомендации этого стандарта распространяются на все роботизированные устройства, использующие захваты, которые могут поставить под угрозу безопасность труда.

Самая большая проблема с конфигурациями CoBots роботами является риск, связанный с столкновением. Стандарт ISO 13850:2015, «Безопасность машин. Аварийный останов. Принципы проектирования», устанавливает требования к проектированию различных блокировок. Аварийные выключатели, как правило, называют E-stop, которые помогают обеспечить безопасность людей и машин, обеспечивая предсказуемый аварийный останов. E-stop отличаются от простых переключателей стоп, E-Stop дает команду приоритета на останов на любой поддерживающей функции, которая поддерживает работу машины. E-Stop лишь часть комплексной системы безопасности. Стандарт ISO 13850:2015 утверждает, что функции аварийного останова должны управляться одним человеком с использованием ручного привода управления. E-Stop должны оставаться в рабочем состоянии в любое время и могут быть сконструированы таким образом, чтобы остановить машину, не создавая дополнительных опасностей.

### **1.5 Перспективы развития умной среды промышленных производств**

Для повышения конкурентоспособности российской промышленности предложена «дорожная карта Технет» (рис. 1.7). Дорожная карта «Технет» Национальной технологической инициативы (НТИ) по цифровизации ведущих отраслей РФ посвящена развитию и применению таких технологий как [6]:

- «умные» модели, «цифровые двойники» (Smart Digital Twin);
- гибкие производственные ячейки, робототехнические комплексы;
- сенсорные сети, промышленный интернет;
- большие данные (Big Data), в первую очередь Smart Big Data;
- информационные системы управления производством и предприятием;
- технологии виртуальной и дополненной реальности;
- экспертные системы и искусственный интеллект.



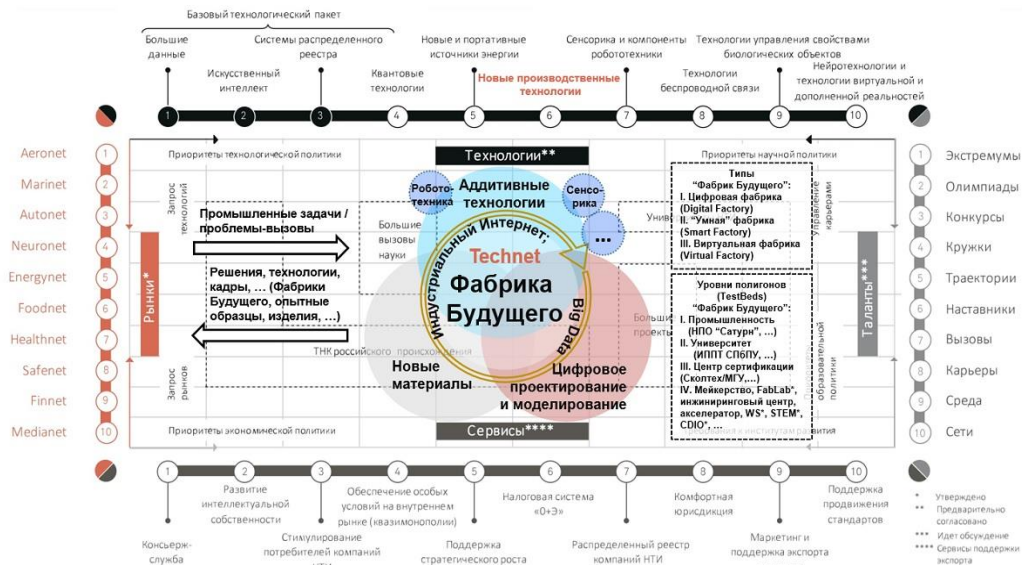


Рис. 1.7. Матрица дорожной карты развития умных предприятий

Используя такие технологии в дорожной карте, ставятся и предлагаются системы комплексных технологических решений, обеспечивающие быстрое проектирование и производство конкурентоспособной продукции нового поколения.

Составными частями фабрик будущего являются:

1. Цифровая фабрика (рис.1.8) подразумевает всеобъемлющее использование «умных» моделей продуктов или изделий (машин, конструкций, агрегатов, приборов, установок и т.д.) на основе новой парадигмы цифрового проектирования и моделирования (Smart Big Data)-Based [Advanced SuperComputer (Simulation & Optimization)]-Driven (Advanced Design & Advanced Manufacturing).
2. «Умная» фабрика (рис.1.8) – система комплексного технологического решения киберфизических систем. Она характеризуется «безлюдным производством», высоким уровнем роботизации и автоматизации, исключает человеческий фактор и ошибки, ухудшающие качество продукции.
3. Виртуальные фабрики (рис.1.8) представляют собой гиперавтоматизацию производств, использующую новые информационные технологии разработки и применения в виде единого объекта виртуальной модели всех организационных, технологических, логистических и прочих процессов на уровне глобальных цепочек и (или) на уровне распределенных производственных активов.

## Составные части (слои) Фабрик Будущего

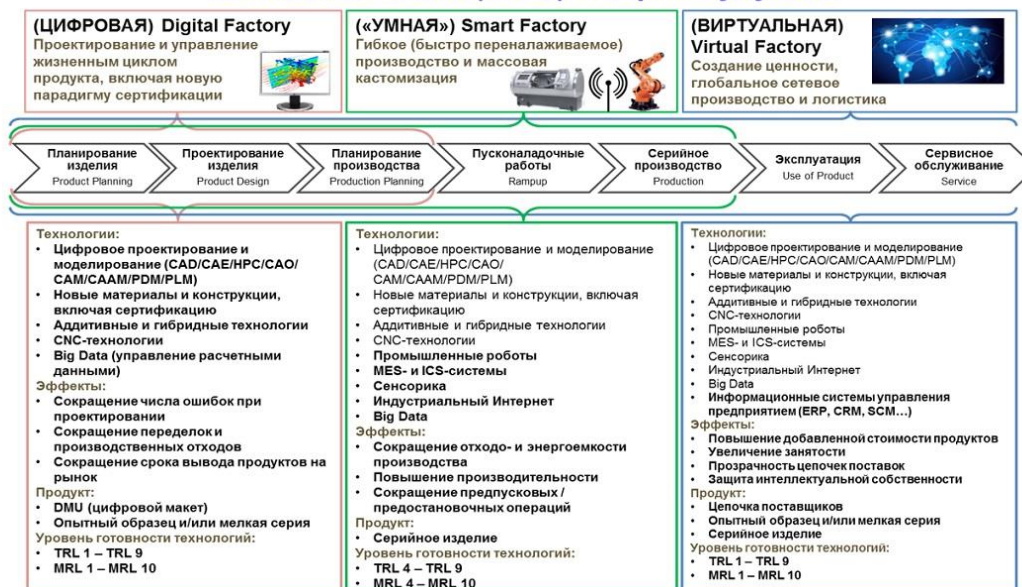


Рис. 1.8. Составные части «Умных предприятий»

Чтобы формировать «Фабрики Будущего», отбирая и комплексируя различные лучшие в мире технологии с добавлением собственных кроссотраслевых интеллектуальных ноу-хау, были созданы специальные полигоны на базе:

- Института передовых производственных технологий (ИППТ) СПбПУ;
- Испытательного полигона «Фабрики Будущего» на базе НПО «Сатурн»;
- Сколковского института науки и технологий и МГУ им. М.В. Ломоносова.

## РАЗДЕЛ 2. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗАЦИИ. ЦИКЛЫ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ. ИНФОРМАЦИОННАЯ ШУМИХА ПЕРСПЕКТИВ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. ЦИКЛЫ ЗРЕЛОСТИ ГАРТНЕРА

Современные ИТ инновации, их появление и тренды развития находятся под непрерывным вниманием аналитиков. Групповые работы аналитиков позволяют ИТ компаниям более ответственно вкладывать денежные средства в развитие и внедрение современной автоматизации.

*Согласно базовым принципам аналитики перспектив развития автоматизации (гиперавтоматизации) выделяются следующие послылы:*

- будущее можно создать в зависимости от приложенных усилий;
- будущее можно изменять в зависимости от решений заинтересованных людей;
- будущее невозможно предсказать достоверно, но можно подготовиться.

Различают два подхода такой аналитики: аналитические отчеты и форсайт (взгляд в будущее). Обе технологии направлены на оценку долгосрочных перспектив науки, технологий, экономики и общества и определение стратегических направлений исследований и новых технологий, способных принести наибольшие социально-экономические блага человечеству.

В зарубежной практике бизнес технологий цифровизации использует рекомендации ведущих аналитических компаний в частности: Gartner, International Data Corporation, Orange Business Services [5, 7-8].

В отечественной практике особой популярностью пользуются рекомендации технологических форсайтов фонда Сколково.

Gartner (Гартнер) – исследовательская и консалтинговая компания, специализирующаяся на рынках информационных технологий. Исследованиям Gartner регулярно посвящаются статьи в таких изданиях, как Financial Times, The Wall Street Journal, The New York Times, Der Spiege, The Register, ZDNet. Компания считается ключевым исследователем рынков технологий цифровизации [7].

Для того чтобы опереться на наибольшую репрезентивность аналитических отчетов обратимся к историческому развитию консалтинговых компаний. Начиная с первой половины 1990-х годов, Gartner поглотила более 30 компаний, в основном – действующих конкурентов на рынке исследований, причём как работавших в отдельных регионах, так и глобальных. Среди крупнейших поглощений:

- AMR Research (2009) – аналитик рынков корпоративных информационных технологий, специализирующийся в основном на ERP-, SCM- и PLM-системах (сумма сделки составила \$64 млн);
- Burton Group (2009) – глобальный аналитик ИТ-рынков, специализирующийся на практическом опыте внедрений;
- IDEAS International (2012) – аналитическая ИТ-компания, специализировавшаяся на технологических оценках и сравнениях конкурентных серверных технологий и технологий хранения данных;
- Software Advice (2014) – компания, предоставляющая исследования и отзывы пользователей на программные продукты в таких отраслях как автоматизация маркетинга и Business Intelligence среднего и малого уровня бизнеса;

- Capterra (2015) – владелец интернет сервиса с инструментами для поиска, подбора и сравнения программного обеспечения, аналитическими статьями и обзорами по известным поставщикам приложений для бизнеса.

Другой международной аналитической компанией является International Data Corporation (IDC). IDC – ведущий поставщик информации и консультационных услуг, организатор мероприятий на рынках информационных технологий, телекоммуникаций и потребительской техники. IDC помогает профессионалам ИТ, руководителям бизнеса и инвесторам принимать обоснованные решения о закупках и их выборе. IDC является подразделением издательской компании International Data Group. По собственным данным на IDC работают более 1100 аналитиков в 110 странах мира, которые собирают и обрабатывают информацию о местных рынках ИТ [5, 8].

Эксперты этой компании считают, что в ближайшие 5 лет наиболее высокие темпы роста ожидаются от рынка консалтинга по безопасности. Растущая сложность угроз, цифровая трансформация бизнес сферы и динамичная, часто обновляющаяся нормативно-правовая база способствуют быстрому развитию сегментов рынка управляемых услуг безопасности: управляемых устройств UTM (Unified Threat Management) и управлению безопасностью и уязвимостями. Спрос на услуги корпоративной кибербезопасности в России наиболее высок в финансах, промышленности и энергетике.

Еще одной компанией аналитиков перспектив развития технологий цифровизации является Orange Business Services. Orange Business Services – подразделение Orange Group, работающее на рынке B2B. В компании трудится 21 000 сотрудников, которые поддерживают процессы цифровой трансформации международных корпораций на пяти континентах. Orange Business Services не только телеком-оператор, но также интегратор ИТ решений и поставщик сервисов с добавленной стоимостью. Интегрированные технологии Orange Business Services охватывают целый спектр решений – от программно-определяемых сетей (SDN/NFV), Big Data и IoT до облачных вычислений, унифицированных коммуникаций, средств совместной работы, а также киберзащиты. В числе клиентов Orange Business Services более 3 000 известных международных корпораций, работающих на глобальном уровне, а также более 2 миллионов профессионалов и компаний.

Форсайт – формат коммуникации и социальная технология, позволяющая участникам определить желаемое будущее, и договориться о дальнейших действиях.

В списке стратегических направлений фонда Сколково выделяются три направления развития технологий, связанных с гиперавтоматизацией: робототехника, мобильные технологии, компьютерная графика и геймификация.

*Робототехника.* В 2018 году объём мирового рынка бытовых роботов достиг \$3,02 млрд. К бытовым роботам в Research And Markets относят роботы-пылесосы, аппараты для мытья окон и полов, чистки бассейнов, подстригания травы, а также роботы-компаньоны, помощники и игрушки.

Эксперты прогнозируют, что спрос на бытовые роботы увеличивается благодаря их практичности и удобству, которые достигаются за счет таких функций, как визуализация помещений и определение зон, в которые не должны попадать роботы. Интеграция с «умными» голосовыми помощниками от Amazon и Google расширяет функциональность такой техники. В 2017 году в мире продано свыше 381

тыс. промышленных роботов на \$16,7 млрд. Динамика развития применения промышленных роботов представлена на рис 2.1.

Россия по внедрению робототехники занимает одно из самых низких мест в мире (плотность роботизации, число промышленных роботов на 10 тысяч занятых в отрасли), но по числу робототехников мы одни из лидеров.

*Мобильные, встроенные и носимые устройства, а также программное обеспечение для них.* К этому направлению относят проекты, связанные с созданием мобильных приложений и носимых устройств (wearables), проекты сферы мобильного здравоохранения и т.п. В этот емкий блок входят как уже существующие в рамках «Сколково» проекты, так и новые.

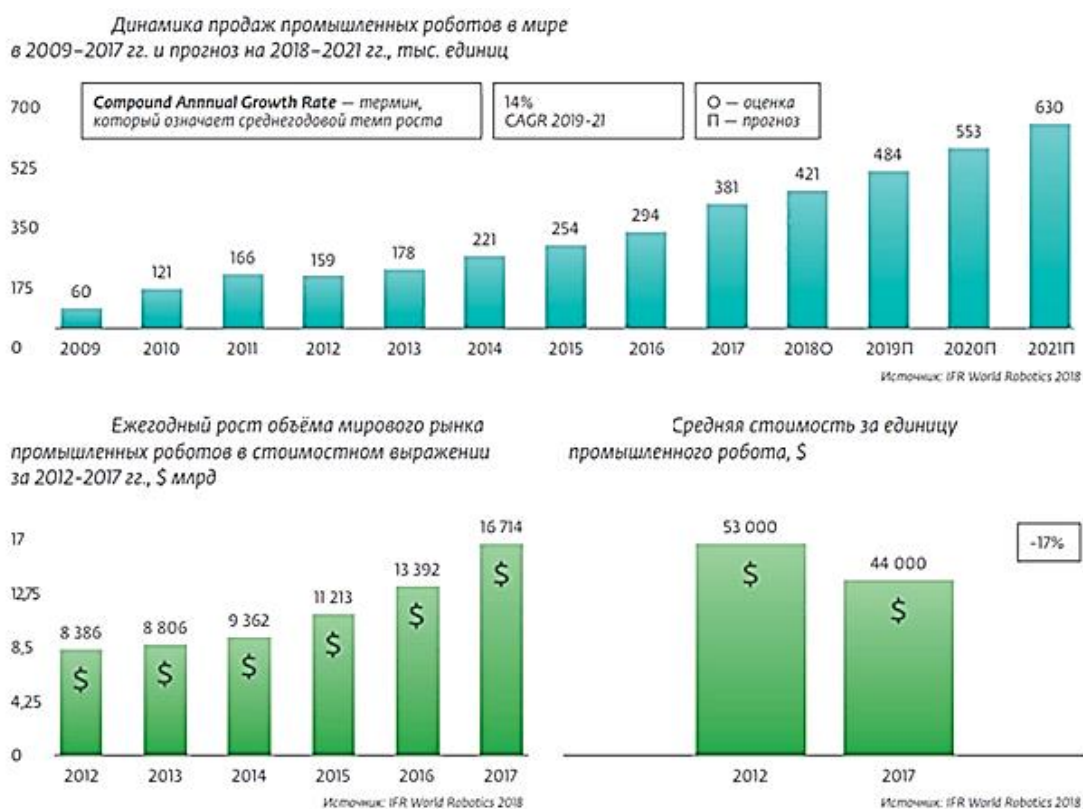


Рис.2.1. Динамика развития применения промышленных роботов

*Новые разработки в компьютерной графике и геймификации.* Компьютерная графика крайне востребована для создания программного обеспечения для современного бизнеса. Современные компьютерные игры требуют серьезной научной базы – речь и о возможностях построения реалистичного 3D-изображения, и о серьезной графике, и даже о новых материалах и устройствах.

Из методологии форсайт вытекает Национальная Технологическая Инициатива (НТИ) заявленная фондом Сколково. НТИ является долгосрочной комплексной программой по созданию условий лидерства отечественных компаний на рынках высокотехнологической новой продукции. Данная инициатива будет определять мировую экономику через 15–20 лет [6] и будет заниматься долгосрочным прогнозированием, решением задач национальной безопасности, повышением качества жизни и развитием новых отраслей.

На рисунке 2.2 показаны:

- ставки и рынки;
- барьеры и технологии;
- предприниматели и таланты (развитие, огранка, поиск);
- сообщества и сервисы;
- инструменты.

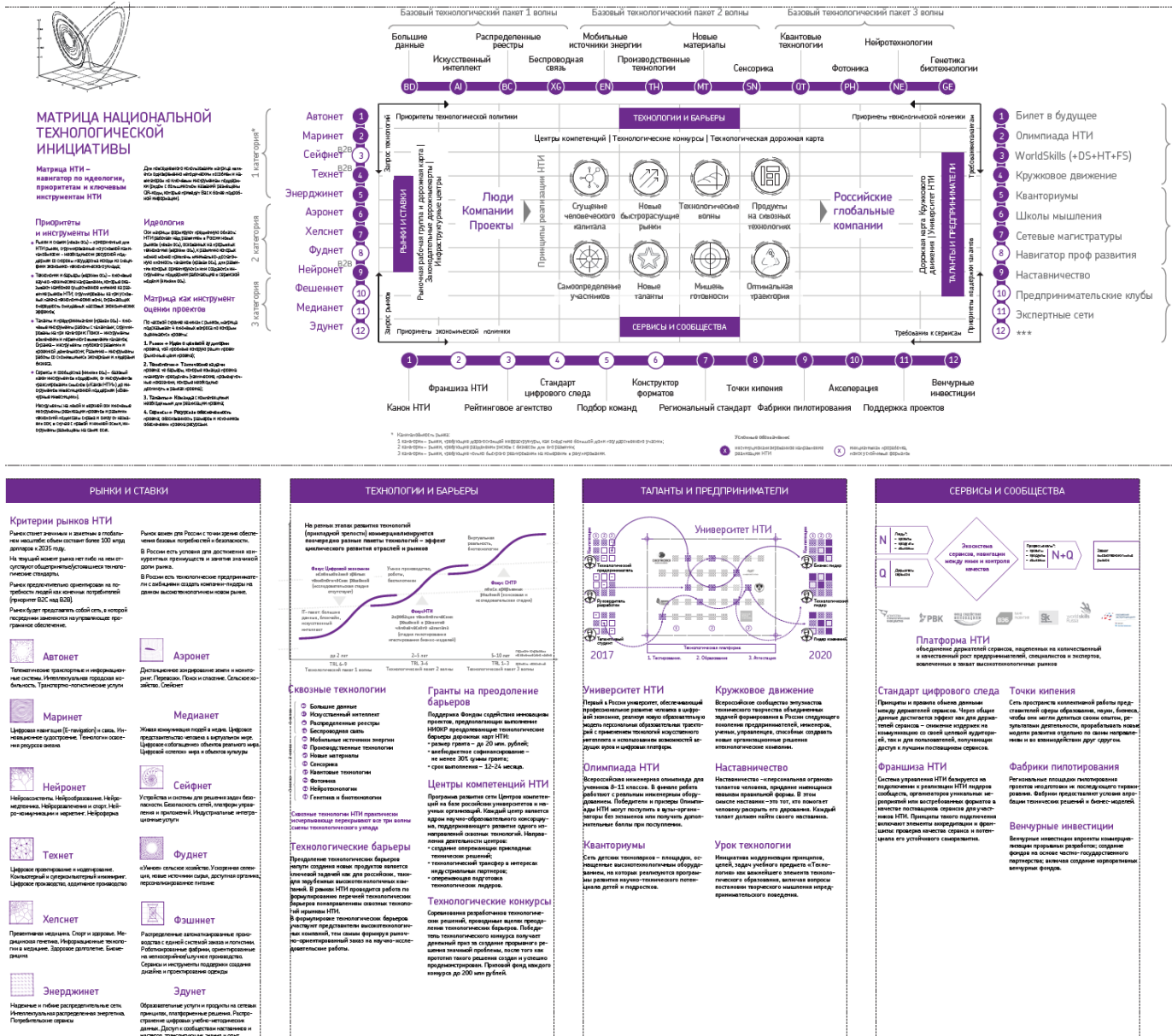


Рис. 2.2. Сколково. Национальная технологическая инициатива развития цифровизации

На рис. 2.3 показаны аналогичные технологические инициативы цифровизации зарубежных стран. Основные задачи, решаемые этими программами, являются:

1. Синхронизация действий всех субъектов промышленного производства.
2. Развитие базовых технологий с использованием интроперальности компьютерных средств.

3. Выстраивание архитектуры интернета вещей.
4. Стимулирование предпринимательской активности в области цифровизации отраслей.

Ведущими компаниями аналитики перспектив развития цифровых технологий выделяются 5 основных трендов.

Тренд первый – **демократизация искусственного интеллекта**. Как пишут аналитики Gartner, уже в ближайшие годы технологии искусственного интеллекта (AI) будут повсюду. Некоторые из них (например, технологии глубокого обучения и виртуальных помощников) станут общедоступными в следующие 2-5 лет. Во всех отчетах консалтинговых компаний действительно много технологий, связанных с искусственным интеллектом – автономные автомобили, автономные летающие транспортные средства, виртуальные помощники, автономные роботы, умные платформы для общения, глубокое обучение и так далее [8].



Рис. 2.3. Технологические инициативы цифровизации зарубежных стран

Тренд второй – **цифровые экосистемы**. В компании Gartner уверены, что переход от разобщенных технических инфраструктур к экосистемным платформам откроет совершенно новые бизнес модели, которые помогут сформировать мост между людьми и технологиями. Что такое «цифровые экосистемы»? Аналитики Gartner под этим термином понимают разные технологии: блокчейн и платформы для интернета вещей (IoT Platform), киберфизические системы. Также в эту категорию попали блокчейн для безопасности данных, цифровые двойники, графы знаний (Knowledge Graphs). Блокчейн и платформы для интернета вещей уже прошли пик шумихи, и достигнут зрелости в течение следующих ближайших лет.

Тренд третий – **diy-биохакинг**. В следующие десять лет, как пишут в Gartner, люди научатся взламывать биологические процессы и адаптировать их под свой стиль жизни и интересы. Однако аналитики отмечают, что остаются вопросы, насколько общество готово принять такие изменения и какие этические проблемы возникают. К этому разделу аналитики отнесли – биочипы, искусственные и выращенные ткани и органы, интерфейс мозг-компьютер, дополненная реальность (Augmented Reality), смешанная реальность (Mixed Reality), умная одежда и материалы. Интересно, что дополненная реальность (Augmented Reality), как и умная

одежда, дальше других продвинулась во внедрении. Однако аналитики по-прежнему считают, что до массовости использования пройдет еще 5-10 лет.

Тренд четвертый – **человекоцентричные технологии**. Под этим трендом в Gartner подразумевают то, что технологии продолжают становиться все более человекоцентричными. Такие технологии расширяют возможности пространств, где бывает человек, и позволят «умнее» жить и работать. К подобным технологиям в нынешнем отчете отнесены 4D-принтинг, самовосстанавливающиеся системы, умная пыль, умное рабочее место, батарейки с кремниевым анодом (емкость которых намного больше обычных), стереодисплей.

Тренд пятый – **повсеместная инфраструктура**. Смысл этого тренда в том, что инфраструктура больше не является сдерживающим фактором для развития компаний. Массовая популярность облачных вычислений и многочисленных вариаций этой технологии дают компаниям доступные и почти безграничные вычислительные мощности. Этот тренд представляется такими технологиями, как 5G, карбоновые нанотрубки, нейроморфные микросхемы, квантовые вычисления.

Согласно прогнозу аналитиков IDC Russia, суммарный объем рынка интернета вещей (Internet of Things, IoT) в России по итогам 2018 г. составляет \$3,67 млрд. Такие данные изложены в отчете компании Semiannual Internet of Things Spending Guide и базирующемся на нем годовом отчете Russia Internet-of-Things Market 2018-2022 Forecast.

Согласно прогнозу дальнейшего развития, в период с 2018 по 2022 г. включительно инвестиции в оборудование, программное обеспечение, услуги и связь, привлеченные для создания решений интернета вещей, будут расти в среднем на 18% ежегодно (CAGR), полагают в IDC Russia.

Ожидается, что на конец 2022 г. расходы на интернет вещей со стороны конечных пользователей в России достигнут \$7,61 млрд. В глобальном масштабе инвестиции в рынок интернета вещей, по мнению специалистов IDC, достигнут \$772,5 млрд. В период 2017-2021 гг. прогноз IDC по росту глобального рынка интернета составляет 14,4%, при этом порог в \$1 трлн., по мнению аналитиков, будет преодолен в 2020 г, и превысит \$1,1 трлн. уже в 2021.

*Hype cycle ИТ компании Gartner* [5, 7]. Hype cycle – графическое отображение проникновения, адаптации и социального влияния новых технологий цифровизации (рис. 2.4). С 1995 года Gartner использует эту методику для описания и *оценки энтузиазма, который вызывает у пользователей появление новых технологических решений*. Хайп-цикл развития современных ИТ компании Гартнер графически представляется S-образной кривой с выделением пяти участков. По мнению экспертов, любая современная инновационная технология проходит через участки хайп-цикла.

Исследователи Gartner считают, что реализуемые ими исследования и сопутствующая инфографика помогают профессионалам отделить «мечты» СМИ от реальности. В частности, таким образом, ИТ-директора и генеральные директора компаний могут принимать более точные решения об использовании или не использовании новинок.



## ЦИКЛ ЗРЕЛОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ

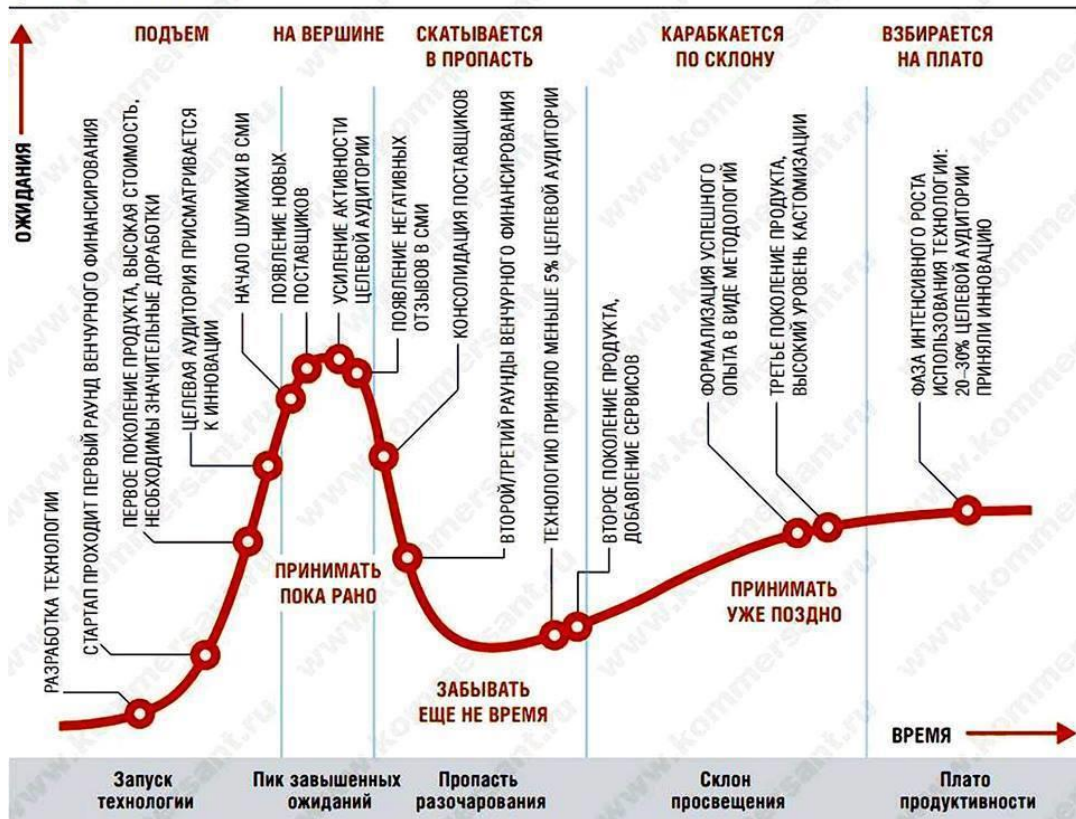


Рис.2.4. Нуре cycle компании Gartner перспектив развития цифровых технологий

У кривой Нуре cycle переходный процесс колебательного типа. Выделяют 5 участков, которые проходит любая инновационная разработка.

«*Запуск технологий*» характеризуется появлением технологий и обсуждением перспектив развития сначала разработчиками, позже с рекламой у энтузиастов.

«*Завышенные ожидания*» характеризуется применением отдельных компаний данной технологии на своих мощностях.

«*Участок разочарования*» характеризуется выявлением недоработок и недостатков инновации, возникновением разочарования.

«*Участок просвещения*» характеризуется исправлением и дополнением разработчиками инновационного продукта, становящимся качественнее, а также появлением интереса меньшего, чем в пик ожиданий.

«*Участок просвещения*» характеризуется завоеванием инновации рынка.

На октябрь 2011 года Gartner выпустила циклы ажиотажа для 75 рынков ИТ, исследовала более 1,9 тыс. разработок. Однако модель Нуре Cycle отражает лишь субъективные ожидания и настроения потребителей и пользователей от новой технологии.

Многие технологии в своём развитии проходят S-образный путь развития и информационные технологии. Если по оси Y отложить результат, который дает новая технология, а по оси X – затраты на её исследование, разработку и производство, то увидим, что кривая жизненного цикла имеет форму буквы S (рис. 2.5).

*Область обучения, или становления.* В начале затраты, выделенные для исследования и разработки, растут, а эффекта нет, полезные свойства (ключевые

технологические параметры) технологии или продукта изменяются весьма незначительно. На данной стадии новая технология имеет очень ограниченное распространение, спрос на новые продукты и технологии либо пока не сформировался, либо ограничен очень узким сегментом. Эта область называется областью обучения, или становления, технологии.

*Область повышенной отдачи.* В некоторый момент наступает перелом, и отдача от технологии начинает резко расти. Продолжаются вложения в развитие технологии и продукта, но результат гораздо значительнее, чем на предыдущей фазе. Полезные свойства технологии или продукта резко увеличиваются. Наблюдается увеличение размеров рынка, образуются новые сегменты и потребности, которые удовлетворяются все более совершенной технологией. Эта область называется областью повышенной отдачи.

*Область насыщения (убывающей отдачи).* Высокая отдача продолжается до некоторого момента, когда вновь наступает перелом: мы продолжаем вкладывать в развитие технологии столько же, но полезные свойства практически не меняются. Потенциал развития идеи, лежащей в основе инновационного процесса, исчерпывается, технология приближается к своему естественному пределу. Эта область называется областью насыщения (или убывающей отдачи).



Рис. 2.5. S-образная модель жизненного цикла технологической инновации

Эксперты World Economic Forum совместно с компанией Accenture Strategy построили S-образные кривые для наиболее важных информационных технологий (рис. 2.6).

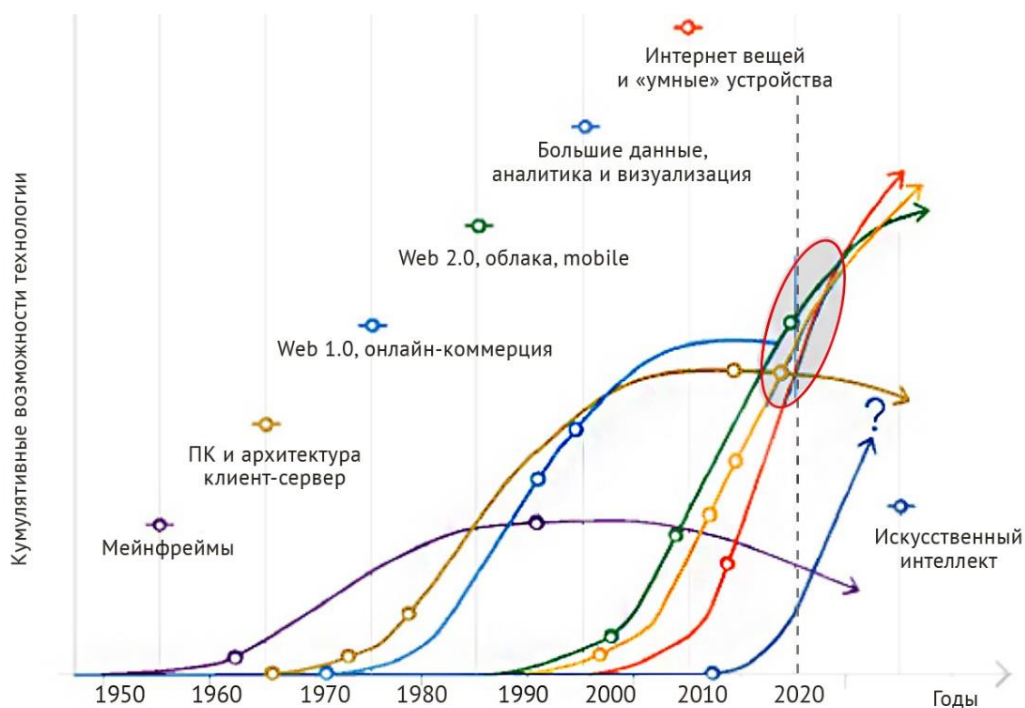


Рис. 2.6. S-образные кривые для наиболее важных информационных технологий

Так мейнфреймы, по оценке специалистов, достигли области насыщения в конце 70-х, а после выпуска IBM System/360 в 1990 году их возможности вообще перестали расти, технология достигла естественного предела. И сейчас её можно назвать скорее умирающей. ПК и архитектура «клиент – сервер» тоже оказались в области насыщения примерно в конце прошлого века, и после 2010 года эта технология достигла естественного предела (пик продаж ПК наблюдался в 2010 году). Технологии Web 1.0 и онлайн-коммерции достигли области насыщения практически в то же время, может быть лишь на год-два позже, и сейчас их возможности уже исчерпаны.

Ряд других технологий – Web 2.0, облака и мобильность, большие данные, аналитика и визуализация, а также интернет вещей и «умные» устройства – сейчас находятся в конце области повышенной отдачи. То есть они уже около 8–10 лет назад вышли на отрезок резкого роста, активно набирали возможности, раскрывали свой потенциал и вот теперь сошлись в одной точке. Это как раз и говорит о том, что сегодняшний момент особенный. Синергия трёх новых технологий уникальна, и это может восприниматься как некая революционная ситуация. Эта S-образная модель отчасти объясняет тот бум, который сейчас наблюдается в ИТ.

На графиках хайп циклов (рис. 2.7 – 2.9) разных лет приведены экспертные оценки перспективных ИТ [7].



Рис.2.7. Хайп цикл перспективных ИТ в 2006 году

В топе 2006 г – digital-платформы для «умного» дома. Интерес к теме поддерживают ведущие технологические компании Amazon, Google, Apple, которые одна за другой запустили на рынок устройства для взаимодействия с голосовыми помощниками дома. Умные колонки, как их прозвали журналисты, по факту – новый способ взаимодействия с машинным интеллектом. Вместо того, чтобы касаться компьютера, телефона или телевизора, пользователь получает нужное голосовой командой, не завися от смартфона. Беспилотные автомобили – еще одно применение AI. Аналитики Gartner видят преимущества технологии в более безопасном движении, снижении загруженности дорог и в развитии экономической модели «транспорт как сервис».

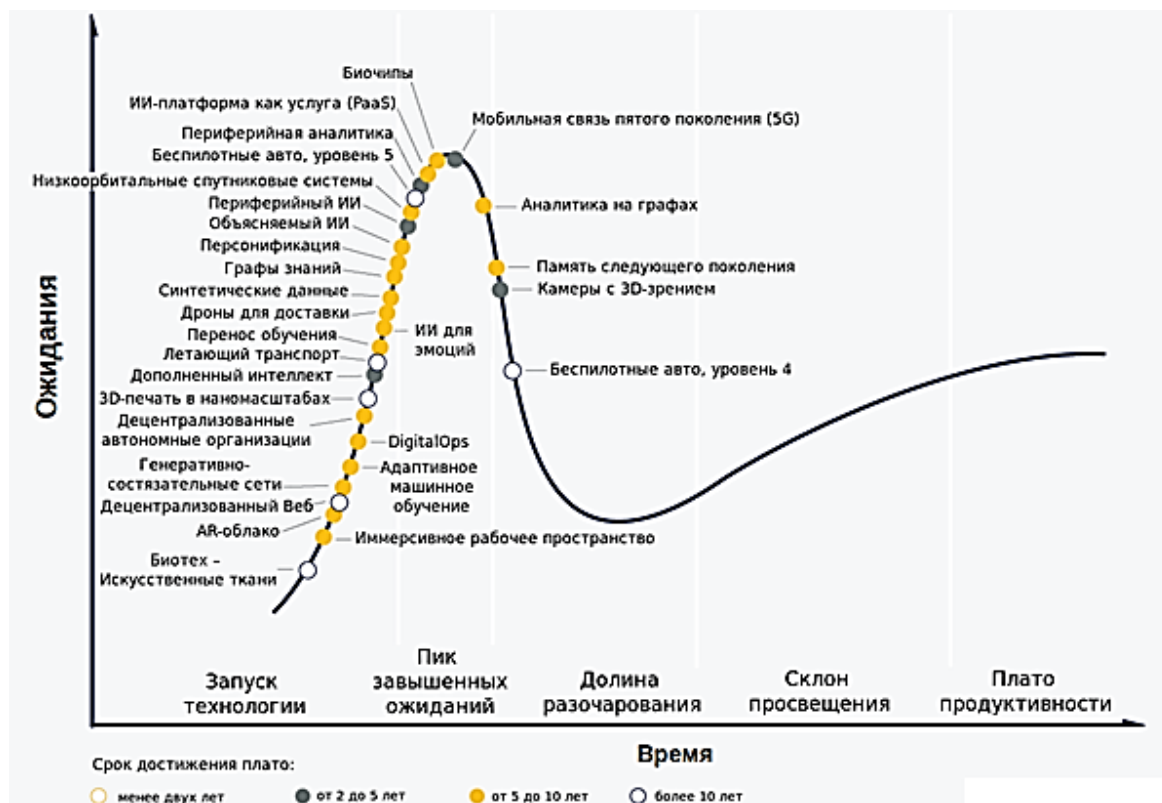


Рис. 2.8. Хайп цикл перспективных ИТ в 2013 году

В августе 2013 года Gartner представила очередной Hype Cycle, в котором основной упор сделан на взаимодействие машин и людей, что нашло отражение в росте ожиданий пользователей от таких технологий как «интеллектуальные механизмы» (smart machines), когнитивные вычисления и «интернет вещей». Исследователи считают, что взаимоотношения людей и техники будут углубляться, сокращая пропасть между ними.

На пике популярности в 2013 г. оказались:

- краудсорсинг – сбор данных силами пользователей;
- Big Data – большие данные;
- геймификация – превращение рутинных занятий в игры;
- гибридные облачные вычисления;
- беспроводная энергия;
- трёхмерная печать (первый домашний 3D-принтер);
- обработка сложных событий – выделение закономерностей из большого числа событий;
- социальная аналитика;
- приватные облачные вычисления;
- дополненная реальность.

Все эти инновации продолжают внедряться в практику.

## Хайп-цикл Гартнера



Рис. 2.9. Модель Нуре Cycle для новых технологий в июле 2017

Оценка экспертов компании Gartner зрелости новых технологий по модели Нуре Cycle на момент середины 2017 показана на рис. 2.9. По их мнению, из всех новых технологий на склон просвещения пока вышла виртуальная реальность с прогнозом выхода на плато продуктивности в течение 2-5 лет. В провале разочарования находится технология дополненной реальности с прогнозом выхода на плато продуктивности в течение 5-10 лет (соответственно, сюда же стоит отнести технологии погружения/присутствия). Остальные технологии, входящие в пул прорывных – блокчейн, «умные» приложения, различные технологии, использующие искусственный интеллект, «умные» устройства, периферийные вычисления, диалоговые платформы и цифровые двойники, – находятся вблизи пика завышенных ожиданий (как до него, так и после). Это вполне объясняет ту шумиху, которую сейчас подняли вокруг них.

В конце июля 2019 года Gartner привела список технологий беспроводной связи, которые, по мнению аналитической компании, определяют будущее ИКТ-рынка. Как уточнил президент по исследованиям Gartner Ник Джонс (Nick Jones), речь идёт о 10 беспроводных технологиях и тенденциях, которые будут стимулировать развитие инноваций в таких областях, как робототехника, дроны, беспилотные автомобили и медицинское оборудование.

*Сети V2X.* Обычные и беспилотные автомобили будут взаимодействовать друг с другом и дорожной инфраструктурой, а это может обеспечить технология V2X. Кроме того, она будет способствовать развитию новых услуг, связанных, к примеру, с безопасностью на дорогах, навигацией и развлечениями в машинах.

*Сети LPWA* доказали свою энергоэффективность при использовании в интернете вещей. Соответствующие модули стоят недорого, поэтому производители IoT -оборудования могут использовать их для создания миниатюрных, дешёвых устройств с питанием от аккумуляторов (например, сенсоры и трекеры).

*Беспроводная сенсорная сеть* представляет собой распределённую самоорганизующуюся сеть множества датчиков и исполнительных устройств,

объединённых между собой посредством радиоканала. Эксперты считают, что беспроводные сенсорные сети имеют потенциал использования в различных сферах – от медицинской диагностики до распознавания объектов и взаимодействия с системами «умного» дома.

*Беспроводные технологии для высокоточного определения местоположения.* Отследить нахождение объекта или человек с точностью до 1 метра сможет технология IEEE 802.11az. Кроме того, такая функциональность должна появиться в новых версиях 5G.

*Технология миллиметровых волн.* Она может использоваться WiFi- и 5G-системами для высокоскоростной передачи данных (например, 4K- и 8K-видео) в небольшом радиусе.

*Сеть Backscatter.* Технология сети обратного рассеяния (Backscatter) может отправлять данные с очень низким энергопотреблением. Эта функция делает технологию идеальной для небольших сетевых устройств.

*Сеть SDR.* Программно-определяемое радио (Software Controlled Radio, SCR) переносит большую часть обработки сигнала от чипов к софту, обеспечивая поддержку большего числа частот и протоколов. Популярность SDR будут расти по мере появления новых протоколов, уверены в Gartner.

В июле 2019 года консалтинговая компания McKinsey представила отчет о технологиях, способных изменить жизнь, бизнес и глобальную экономику в ближайшие годы, включив в этот список мобильный интернет, беспилотные автомобили и передовую геномику.

По прогнозам аналитиков, к 2025 году потенциальный экономический эффект от внедрения таких технологий составит в пределах \$14-33 трлн. Этот анализ основан на углубленном анализе ключевых потенциальных преимуществ, в том числе более качественных продуктов и более низких цен. В отчет вошли следующие технологические направления:

- мобильный интернет;
- автоматизация;
- интернет вещей;
- облачные вычисления;
- усовершенствованная робототехника;
- автономные транспортные средства;
- геномика следующего поколения;
- новые средства накопления энергии;
- 3D-печать;
- улучшенные материалы и топливо;
- возобновляемые источники энергии.

Одной из технологий, вошедших в отчет 2019 г., является *усовершенствованная робототехника*, то есть роботы или роботизированные инструменты с ИИ, способные выполнять задачи, которые раньше считались слишком деликатными или неэкономичными для автоматизации. Так, роботизированные хирургические системы позволяют сделать оперативные процедуры менее инвазивными, а роботизированное протезирование и «экзоскелеты» восстанавливают утраченные функции пациентов.

*Геномика* следующего поколения объединяет визуализацию ДНК с быстро развивающимися вычислительными и аналитическими возможностями. По мере того, как улучшается наше понимание геномного строения человека, растет и

способность манипулировать генами и улучшать диагностику. Геномика следующего поколения предложит аналогичные достижения для растений и животных, потенциально повышая сельскохозяйственную производительность огромных регионов, а также создавая новые ценные вещества, например, биодизель на основе бактерий.

*Литий-ионные аккумуляторы и топливные элементы* уже приводят в действие электрические и гибридные автомобили, а также миллиарды портативных бытовых устройств. В предстоящее десятилетие прогрессивные технологии хранения энергии смогут повысить конкурентоспособность электромобилей, доставлять электроэнергию в отдаленные районы развивающихся стран и повышать эффективность энергосистемы в целом, говорится в исследовании, обнародованном в июле 2019 года [8].

В апреле 2019 года аналитическая компания Gartner назвала 10 технологических трендов на 2019 и последующие годы.

1. Автономные устройства. Автономные устройства используют искусственный интеллект для решения задач, традиционно выполняемых людьми. Выделяют пять направлений развития автономных устройств: робототехника, транспортные средства, дроны, бытовая техника и приложения. По прогнозам экспертов, развитие систем ИИ все больше будет определяться взаимодействием автономных устройств.
2. Дополненная аналитика. Дополненная аналитика позволяет проверить больше гипотез и тем самым открывает больше возможностей для обработки и анализа данных. Автоматизированные сводки дополненной аналитики будут встраиваться в корпоративные приложения, чтобы оптимизировать принимаемые решения и действия всех сотрудников.
3. Разработка приложений на основе AI. Благодаря новым платформам профессиональные разработчики приложений получают возможность встраивать модели и функции на основе ИИ в свои работы, не обращая за помощью к специалисту по анализу данных. При этом часть задач разработчика решается автоматически, а сами средства разработки эволюционируют от решения простых задач к автоматизации более сложной деятельности за счет встроенных знаний в конкретной предметной области.
4. Цифровые двойники. Цифровой двойник – это цифровое отражение реального объекта, процесса или системы. Отдельные цифровые двойники могут взаимодействовать друг с другом, образуя более сложные и крупные системы. В основном они применяются в интернете вещей: обеспечивают мониторинг технического состояния, указывают на возможные пути повышения эффективности и используются для разработки новых технологий и услуг. Предполагается, что следующим шагом станут цифровые двойники целых компаний.
5. Усиление периферийных вычислений. При периферийных вычислениях обработка информации осуществляется на устройствах, непосредственно использующих эти данные, с целью локализации трафика и уменьшения задержек. Аналитики считают, что периферия будет становиться все более интеллектуальной благодаря встроенным сенсорам, запоминающим и вычислительным компонентам на основе ИИ.
6. Технологии с эффектом погружения. Дополненная, смешанная и виртуальная реальность изменяют способ восприятия мира пользователем и формируют



новый опыт погружения. В Gartner уверены, что новый интерфейс сможет связать пользователей через периферические устройства с миром в цифровом формате, воздействуя на все органы чувств и усовершенствованные машинные «органы восприятия».

7. Блокчейн потенциально способен улучшить движение денежных средств, посредством снижения издержек и сокращения сроков расчетов. Блокчейн также открыл дорогу множеству решений, которые используют отдельные его элементы и преимущества, хотя они пока не реализуют модель децентрализованной сети.
8. «Умное» пространства – физическая или цифровая среда, в рамках которой взаимодействуют люди и информационные системы. «Умные» пространства развиваются по пяти ключевым направлениям: открытость, связность, координация, интеллект и масштаб. Самым развитым примером являются «умные» города.
9. Цифровая этика и конфиденциальность. Правительства ужесточают законы, касающиеся цифровой этики и приватности, а потребители тщательно следят за использованием личной информации. Предприятия, не уделяющие внимания этому аспекту, рискуют потерять клиентов.
10. Квантовые вычисления. Квантовые компьютеры способны полностью изменить персонализированную медицину, оптимизацию машинного обучения и ИИ, исследования материалов и другие области. Однако по-прежнему эта технология находится в зачаточном состоянии.

Особенностью сегодняшнего момента, является то, что зрелость многих технологий достигла существенного уровня, и ожидания от большинства из них сегодня сильно завышены.

В декабре 2016 года вице-президент инвестиционного фонда Icon Ventures Майкл Маллани решил составить ретроспективу кривой зрелости технологий Gartner и проверить, как часто ошибались аналитики. После анализа циклов с 2000 по 2016 год Майкл пришёл к выводу, что технологии подчиняются кривой зрелости с большим числом оговорок.

Так некоторые технологии стали представлять собой фоновый шум – к примеру, объектно-ориентированное программирование. Другие исчезли из общественного сознания. В третью категорию можно отнести технологии, которые считались практически готовыми, но им потребовались десятилетия, чтобы достигнуть зрелости – к ним относится распознавание речи.

Если открыть графики циклов Gartner с 2000 по 2016 год, семнадцать лет эпохи развития ИТ, можно увидеть, что множество технологий не подчиняется циклу:

- когнитивное восприятие искажает память о прошлом;
- люди предвзяты: они бессознательно улучшают память о прошлых предсказаниях;
- людям намного проще запомнить успешные технологии, которыми они окружены, а не потерпевшие неудачу проекты.

Самая ранняя технология в кривой 1995 года – Emergent Computation, эмерджентные вычисления. Это теория, которая определяет новые свойства объектов при их взаимодействии.

Эмерджентные вычисления не получили развития в своём виде, но в неявной форме эта технология легла в основу распределённых эволюционных алгоритмов, а значит, и машинного обучения на основе нейронной сети.

Но если спросить 20 технических специалистов Кремниевой долины о том, какие технологии удались, а какие провалились, никто не назовёт провал Emergent Computation хотя в 1995 году эта технология попала в десятку самых главных. Вот некоторые уроки прошлого:

*Урок 1.* Аналитики плохо делают прогнозы, особенно о будущем. Для опытных специалистов Кремниевой долины в этом нет сюрприза – прогнозы не сбываются. В Gartner Hype Cycle появилось более двухсот уникальных технологий, но только несколько из них прошли весь путь от начала до конца. Среди них облачные вычисления, 3D-печать, поиск на естественном языке и электронные чернила.

*Урок 2.* Большинство волнующих технологических инноваций – просто завышенные ожидания. В ИТ-сфере ярко выражена склонность восхищаться технологиями и сразу забывать о них. Из двухсот технологий из списка Gartner больше пятидесяти появились на кривой зрелости только один раз. Можно привести примеры «хитов», которые не выдержали испытания временем – краудсорсинг, HTML5, концепция BYOD «принеси своё устройство» (Bring Your Own Device) и подкасты.

*Урок 3.* Многие технологии просто умирают. Развивая второй «урок», можно считать, что последние 20 лет стали кладбищем технологий, которые умирают постоянно и преждевременно. По предварительным подсчётам, более 20% всех технологий, которые отслеживались в течение нескольких лет в Hype Cycle, стали устаревшими ещё до того, как достигли какого-то успеха.

Примеры перспективных технологий, которые появились в нескольких циклах Gartner, но умерли:

- Ultra-Wide Band – технология передачи данных на коротких расстояниях, которая достигла пика популярности в 2004 году, но была забыта к 2008 году;
- корпоративные RSS. После успеха RSS в качестве формата чтения новостей считалось, что RSS может стать главным корпоративным форматом для распространения информации. В 2006 году её назвали перспективной и растущей, но уже в 2007 году она провалилась;
- 802.16 WiMAX – конкурент LTE для сотовых сетей четвертого поколения. Считается, что стандарт был мертворождённым: он появился в Hype Cycle в 2005 году, но уже в 2006 году попал в «впадину разочарования» и исчез из-за недостаточного активного развёртывания сети;
- настольный Linux для бизнеса появился в 2003 году сразу же на «пике раздутых ожиданий», но к 2005 году полностью исчез. Разработчикам не удалось вытеснить Windows в качестве основной настольной ОС. Не спасла даже виртуальная машина VMware, которая позволяла запускать Linux в качестве Windows-приложения без каких-либо следов в системе;
- ячеистая топология (Mesh networks) – Сетевая архитектура маршрутизированных сетей, в которых любой компьютер мог стать коммутатором для остальных устройств. Появлялась девять раз за одиннадцать лет в качестве «склона просвещения». Оказалась слишком сложной для организации работы и осталась узкоспециализированной технологией.

Это всего несколько примеров из множества технологий, которые отправились на кладбище.

*Урок 4.* У технологии может быть правильное представление, но до реализации дело не доходит. В 2002 году на Pure Cycle появилась «служба общедоступной аутентификации». Предсказание Gartner было основано на выпуске Microsoft Passport – служба предоставляла доступ ко всем сервисам компании через единый центр авторизации. Но технология была не готова к массовому рынку и разрабатывалась на устаревших стандартах. Спустя пять лет, в 2007 году, появился OAuth – сервис, разработанный совместными усилиями компаний Google, Twitter и Magnolia. За счёт большой пользовательской базы он получил распространение. Сейчас на большинстве сайтов с логином можно авторизоваться через популярные соцсети. Идея Microsoft оказалась правильной, но реализация слишком плохой.

*Урок 5.* Некоторые технологии слишком футуристичны. В кривой зрелости есть технологии, которые повторяются из года в год, считаются научно-фантастическими и могут не увидеть свет:

- квантовые вычисления – уже в 2000 году были обсуждения разработки квантового компьютера, но до сих пор нет практически никаких работающих прототипов;
- нейронный интерфейс – несмотря на заметный прогресс в области управления компьютерами с помощью мозговой активности, он все ещё недостаточный для реализации технологии в ближайшие десять лет.

*Урок 6.* Многие технологии продолжают тихо развиваться, несмотря на громкие неудачи. Есть достаточно много кривых зрелости технологий, в которых прослеживается один и тот же шаблон: некоторые технологии считают неудавшимися и провальными, но спустя несколько лет выходят новые стартапы с существенным рывком в развитии:

1. Дисплеи с головным креплением. Первое поколение устройств с головным креплением появилось в конце 90-х годов, а в 2001 году их добавили в кривую зрелости. Однако несовершенство экранов того времени сделало технологию мертворождённой. Тем не менее, за последние несколько лет появились дисплеи с высоким разрешением и частотой кадров, дешёвые датчики движения и технологии машинного обучения. Они воскресили шлемы дополненной и виртуальной реальности – технология получила новый виток развития. VR до сих пор находится на ранней стадии, но у современных шлемов есть влияние и возможность закрепиться на рынке.
2. Генерация речи. Перевод текста в речь и моментального перевода речи одного языка на другой появлялись в нескольких кривых зрелости в 2002, 2005, 2006 годах. Но только в последние годы технология получила серьёзный скачок в развитии за счёт машинного обучения.
3. Децентрализованная сеть. Последний раз она появлялась на кривых зрелости в 2002 году, а затем переродилась в блокчейн и крипто валюты.

Прошлое может стать источником идей для инженеров нового поколения. Некоторые технологии могут «выстрелить» на втором или третьем витке развития.

*Урок 7.* Многие технологии просто не появились на кривых зрелости. Аналитики могут ошибаться и что-то не учесть. За последние 20 лет аналитики Gartner пропустили много технологий, которые стали основой приложений и платформ. Они должны были попасть в список кривой зрелости:

1. Аппаратная виртуализация x86. Самая важная технология центров обработки данных последнего десятилетия, впервые внедрённая VMware.

2. Базы данных NoSQL. В начале двухтысячных годов появилась волна баз данных, не основанная на SQL: MongoDB, Cassandra, Redis, Couch.
3. Map, Reduce, Hadoop – основные технологии обработки и анализа данных.
4. Open Source – распространение открытого исходного кода в качестве модели лицензирования привело к развитию компьютерной инфраструктуры, объединению людей в сообщества и совместные разработки, а также к внедрению облачных моделей.

Это лишь некоторые из основных технологических трендов, которые не появились в рамках основной кривой зрелости технологий. Gartner отодвигала их на второй план во второстепенные.

Представляет интерес оценка ведущих аналитиков трендов языков программирования (рис. 2.10).

*Языки программирования.* Специалисты, автоматчики и робототехники нередко задаются вопросом какой же язык программирования лучше изучать из тысячи существующих? Однозначного ответа на данный вопрос не существует, так как каждый язык создан под решение конкретной задачи. С течением времени некоторые языки программирования потеряли актуальность.

Лидирующими языками программирования в мире, занимающими 60% объема использования, являются: *Python, Java и JavaScript, C*. Перечисленные языки удовлетворяют потребностям крупнейших корпораций и бизнеса, использующего платформу интернета.

*JavaScript* – язык для разработки веб-приложений и дизайна, связанный с HTML и CSS технологиями.

*Python* – в целом неплохой язык, однако, проигрывающий по производительности Java и C.

Цикл Гартнера для языков программирования приведен на рисунке 2.10.

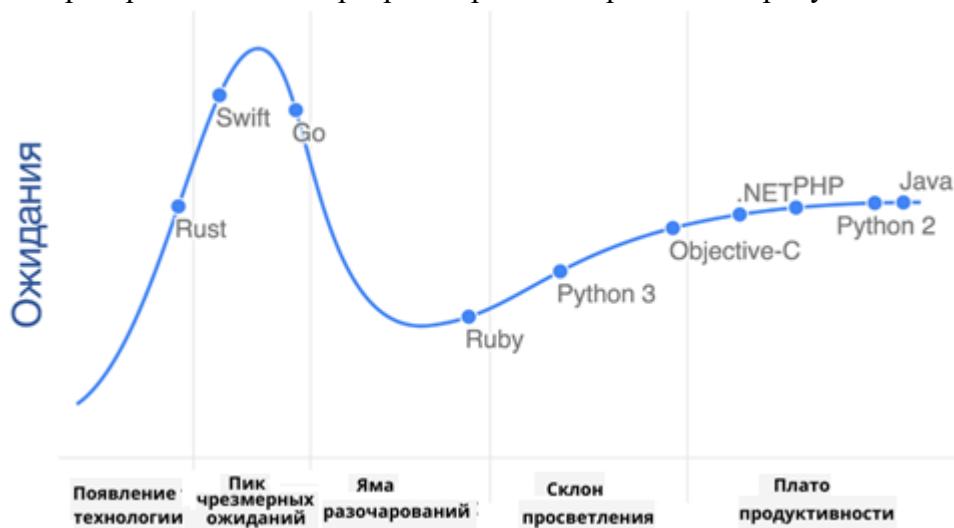


Рис.2.10. Хайп цикл развития языков программирования

Изучение любого из этих языков позволяет овладеть базовыми понятиями и фундаментальными основами программирования: переменные, типы, возвращаемые значения, методы, функции, выражения, инициализация и жизненный цикл, алгоритмы, потоки ввода/вывода.

C++ необходим для разработки разнообразных прикладных программ управления железом. Он часто используется для низкоуровневого программирования и поэтому подходит, например, для написания драйверов и операционных систем.

Язык C# создан по образу и подобию Java, только с синтаксисом ближе к C++. Он используется преимущественно для разработки программных продуктов под платформы NET.Framework и Windows.

JavaScript занимает лидирующую позицию. За время существования сервиса на нем было создано больше всего приложений масштаба предприятия (к 2018 году около 1 млн.).

Язык Python зарекомендовал себя как быстрый, надежный и платформенно независимый язык, что делает его лучшим языком программирования для разработки современных систем автоматизации и управления роботами.

Технологии цифровизации быстро переходят *от модели*, когда аналитикам (разработчикам прикладного ПО) приходится сотрудничать с кодировщиками ПО приложений при создании коммерческих решений гиперавтоматизации *к ИИ модели*, когда профессиональный разработчик может действовать самостоятельно, используя программные модули коды, предлагаемые как услуга ИИ. Это предоставляет аналитику возможность более эффективной разработки прикладного ПО, а также инструменты разработки, приспособленные для интеграции ИИ-функционала, обеспечивающего программирование задачи. Дополнительно этому профессиональным разработчикам прикладного ПО предоставляется инструментарий, который может быть применен к самому процессу разработки, автоматизируя различные функции интеллектуального анализа данных, разработки и тестирования приложений.

Такая выигрышная среда разработки с использованием ИИ, автоматизирующая не только функциональные, но и другие проблемы приложений, дает рождение новому этапу прикладных разработок «разработок доступных для каждого», когда непрофессионалы смогут использовать инструментарий с элементами ИИ, чтобы автоматически генерировать новые решения.

### РАЗДЕЛ 3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ. ERP. MES. SCADA. CALS

Современные реалии таковы, что предприятия различных отраслей и в том числе НГО вне зависимости от вида деятельности все чаще сталкиваются с необходимостью автоматизации деятельности в целом. Невозможно вручную обрабатывать огромные массивы неструктурированных данных, необходимых для аналитического анализа и принятия решений. Для решения данной проблемы и были созданы системы автоматизации: CALS, ERP, MES и АСУ ТП [9-11].

*Автоматизированная система (АС)* – это программно-технический комплекс, который выполняет как функции контроля за параметрами и характеристиками процесса, результатом чего является сигнализация оператору о выходе контролируемых параметров (ключевых показателей эффективности) за границы установленного контрольного интервала (информационная система управления), так и функции локального управления, оказание непосредственного воздействия на контролируемую часть процесса, для того, что бы не нарушались установленные контрольные границы.

В настоящее время распространенным решением АС являются [13-14]:

*Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП)* – система контроля, управления и защиты технологического процесса, построенная на средствах измерения, вычислительной технике, исполнительных устройствах и механизмах и предназначенная для обеспечения комплексной автоматизации технологических операций на производстве.

*Распределенная система управления (РСУ)* – совокупность территориально и функционально распределённых автоматизированных и автоматических подсистем с единым информационным пространством, в которой каждая подсистема может использовать параметры и результаты вычислений других подсистем. В зарубежных источниках распределённая система управления носит название DCS (англ. Distributed Control System) – это комплекс технических и программных решений для построения АСУ ТП, характерной чертой которой является децентрализованная обработка измерений КИПиА и наличие распределенных систем ввода и вывода информации, повышенная отказоустойчивость, стандартная система диспетчерского управления.

*Автоматизированная система управления производственными процессами цеха (MES, manufacturing execution system)* – это система менеджмента производственной деятельности, которая инициирует, направляет, реагирует и сообщает людям, управляющим производством, о работе производства в режиме «on-line» и реальном масштабе времени. Эта система помогает деятельности в сфере исполнения промышленных заказов. Это система автоматизированного управления цеховым уровнем предприятия, предназначенная для производства необходимых изделий или оказания инфраструктурных услуг, включающая в себя контроль качества, управление документооборотом, внутризаводское диспетчерское управление, отслеживание незавершенного производственного процесса, контроль соблюдения операционной технологической карты, протоколирование производственного процесса, управление ресурсами и исправлением бракованных изделий, контрольно-измерительные процедуры и сбор данных.

*Автоматизированная система управления предприятием (ERP/MRP II)*. Это системы автоматизированного планирования ресурсов предприятия (ERP) и

планирования производственных ресурсов (MRP II), системы, которые обеспечивают финансирование, управление заказами, управление кадрами, планирование продукции и материалов и предоставляют соответствующие функции. Современные системы этого назначения сосредоточены на выполнении всеобъемлющего планирования, деловых процессов и их исполнении по всему предприятию.

*Автоматизированная система управления жизненным циклом продукции CALS.* Первая часть аббревиатуры CALS – *Continuous Acquisition [Support]* (непрерывный сбор данных) означает непрерывность информационного взаимодействия в ходе формализации потребностей клиента, формирования заказа, процесса проектирования и изготовления [14].

Вторая часть – *Life Cycle Support* (поддержка жизненного цикла изделия) – означает системность подхода к информационной поддержке всех процессов жизненного цикла изделия, в первую очередь, процессов эксплуатации, обслуживания, ремонта и утилизации и т.д. Основой построения таких систем могут служить рекомендации стандарта ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288 и руководства по его применению ГОСТ Р 57102.

*Автоматизированная система управления технологическим процессом (SCADA, Supervisory Control And Data Acquisition), диспетчерское управление и сбор данных* – это программный пакет или программно-управляемый комплекс, предназначенный для разработки и обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления.

Кроме того, для управления технологическими процессами и деятельностью предприятий используются отдельные системы автоматизации: управление взаимоотношениями с клиентами (CRM); управление бизнес-процессами (BPM); техническое обслуживание и ремонт (ТОиР); управление производственными активами (EAM); расширенное планирование и планирование (APS); управление жизненным циклом продукции (PLM); система управления лабораторной информацией (LIMS).

Совместное применение подобных систем позволяет выстроить гибкую вертикаль управления деятельностью предприятия, начиная от автоматического сбора информации и заканчивая получением сводных аналитических отчетов.

Использование этих систем обеспечивает управление информацией в масштабах всего предприятия на стратегическом, тактическом и оперативном уровнях.

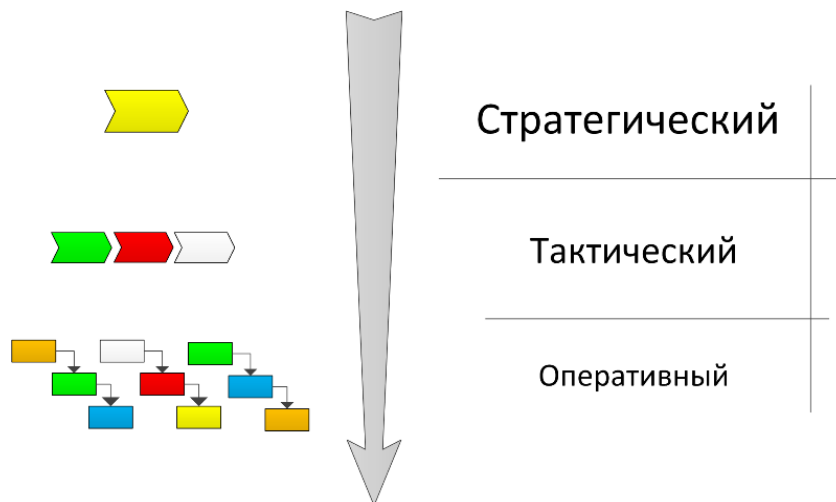


Рис. 3.1. Уровни управления

В соответствии с названиями уровней (рис.3.1), устанавливается область ответственности уровня управления, отличающаяся в первую очередь частотой обработки данных и иерархической значимостью.

Оперативный уровень отличается высокой частотой обработки деловой информации, а стратегический уровень - низкой. Это затрудняет согласование времени совместной обработки данных. Однако, менеджмент предпочитает выполнять обработку информации на всех уровнях в реальном масштабе времени.

Пользователями этих систем являются:

- директор, управление предприятием, ERP;
- начальник производства, управление производством, MES;
- оператор, управление технологическим процессом, SCADA, DCS;
- бизнес-аналитик, мониторинг ключевых показателей эффективности (KPI) BI;
- менеджер, управление бизнес-процессом, BPM;
- механик, управление техническим обслуживанием, ТОиР, EAM;
- менеджер, управление производственным планированием, APS;
- конструктор, управление жизненным циклом изделия, PLM;
- технолог, лабораторный контроль качества, LIMS.

Задачами участников производственных процессов являются непрерывное управление процессами производства:

- оператор/рабочий регистрирует выполнение технологических операций, указывает причины простоев оборудования, делает запросы на переналадку и т.п., система позволяет ему видеть свою выработку;
- наладчик обрабатывает запросы на переналадку оборудования и регистрирует факт её осуществления;
- мастер/начальник участка контролирует выполнение операций на участке и подтверждает выполнение заданий;
- контролёр службы качества подтверждает проведение контрольных операций;
- диспетчер ведёт оперативное планирование в ручном или автоматическом режиме в зависимости от специфики работы участка;



- работник инструментальной кладовой обрабатывает заявки от наладчиков и операторов на получение и возврат режущего инструмента и оснастки.

Основные функции SCADA, MES, ERP:

1. Ввод-вывод информации:
  - формирование графического интерфейса пользователя;
  - обмен данными с другими информационными системами.
2. Обработка данных (бизнес-логика).
3. Хранение данных (база данных).

В системе ERP обеспечивается управление финансово-хозяйственной деятельностью предприятия, планирование и учёт в производстве на межцеховом уровне. Основные задачи ERP:

- управление финансами;
- управление персоналом;
- управление операциями (логистика, снабжение, сбыт).

Производственные процессы в рамках предприятия могут быть представлены как совокупность действий, показанных на рисунке 3.2.

Основные задачи MES:

1. Оперативное управление производством:
  - производственными заказами;
  - запасами и незавершённым производством;
  - технологическими маршрутами;
  - операциями;
  - сертификатами;
  - спецификациями;
  - рецептами;
  - трудовыми ресурсами;
  - документами;
  - отслеживанием производственных событий;
  - отслеживанием жизненным циклом продукции.
2. Анализ эффективности технологического оборудования.
3. Управление качеством продукции.

Основными задачами SCADA являются:

1. Визуализация технологического процесса (HMI).
2. Оперативное управление технологическим процессом.
3. Управление аварийными сообщениями и событиями.
4. Анализ исторических данных (трендов).
5. Генерация отчётов.

Система MES применяется для внутрицехового управления производством: построения производственных расписаний и контроля их исполнения на каждом участке, единице оборудования [15]:

- ежедневное планирование работ по участкам и отдельным единицам оборудования с учётом плана цеха на текущий период;
- оперативное изменение суточного плана с учётом текущей ситуации в цехе (поломка оборудования, нехватка инструмента или материала, отсутствие сотрудника и т.п.);
- диспетчеризация и учёт выполнения работ, визуализация производственного процесса в реальном времени;

- получение информации о реальной загрузке оборудования в цехах;
- сокращение бумажного документооборота за счёт ведения внутрицеховых документов в электронном виде (сменно-суточных заданий, маршрутных карт, различных производственных журналов);
- ведение заявок на получение инструмента и оснастки в инструментальных кладовых.

Система SCADA – диспетчерское управление и сбор данных, предназначенная для сбора, обработки и отображения информации в производственных цехах на технологическом уровне производства. С её помощью можно отслеживать состояние оборудования, а именно: какое оборудование в настоящий момент работает, какое выключено, какое простаивает и по какой причине это происходит.

Для обеспечения интеграции и синхронизации обмена данных разработчики большинства ERP и MES-систем ориентируются на международный стандарт ГОСТ Р МЭК 62264, включающий в себя описание объектов, атрибутов и моделей интеграции.

Ассоциация MESA ([www.mesa.org](http://www.mesa.org)) предлагает следующее определение MES: это «...система, состоящая из набора программных и аппаратных средств, обеспечивающих функции управления производственной деятельностью – от заказа на изготовление партии продукции и до завершения производства. Используя своевременные и точные данные, MES-система инициирует, ведет, реагирует на изменяющуюся ситуацию, составляет отчеты о производственных процессах по мере их протекания. MES-система позволяет обмениваться MESA информацией о производственных процессах с другими инженерными и бизнес подразделениями предприятия и цепочками его поставок через двунаправленные каналы связи».

Ассоциация определила 11 основных функций MES:

1. Контроль состояния и распределение ресурсов (*RAS*, Resource Allocation and Status) – управление ресурсами производства (машинами, инструментальными средствами, методиками работ, материалами, оборудованием) и другими объектами (например, документами о порядке выполнения каждой производственной операции). В рамках этой функции описывается детальная история ресурсов и гарантируется правильность настройки оборудования в производственном процессе, отслеживается состояние оборудования в режиме реального времени.
2. Оперативное/детальное планирование (*ODS*, Operations/Detail Scheduling) – оперативное и детальное планирование работы, основанное на приоритетах, атрибутах, характеристиках и свойствах конкретного вида продукции, детальный и оптимальный расчет загрузки оборудования при работе конкретной смены.
3. Диспетчеризация производства (*DPU*, Dispatching Production Units) – текущий мониторинг и диспетчеризация процесса производства, отслеживание выполнения операций, занятости оборудования и людей, выполнения заказов, объемов, партий, контроль в реальном времени выполнения работ в соответствии с планом. В режиме реального времени отслеживаются все происходящие изменения и вносятся корректировки в план цеха.
4. Управление документами (*DOC*, Document Control) – контроль содержания и прохождения документов, которые должны сопровождать выпускаемое изделие, включая инструкции и нормативы работ, способы выполнения, чертежи, процедуры стандартных операций, программы обработки деталей,

записи партий продукции, сообщения о технических изменениях, передачу информации от смены к смене, а также обеспечение возможности вести плановую и отчетную цеховую документацию. Предусматривается архивирование информации.

5. Сбор и хранение данных (*DCA*, Data Collection/Acquisition) – информационное взаимодействие различных производственных подсистем для получения, накопления и передачи технологических и управляющих данных, циркулирующих в производственной среде предприятия. Данные о ходе производства могут вводиться как вручную персоналом, так и автоматически с заданной периодичностью из АСУТП или непосредственно с производственных линий.
6. Управление персоналом (*LM*, Labor Management) – предоставление информации о персонале с заданной периодичностью, включая отчеты о времени и присутствии на рабочем месте, слежение за соответствием сертификации, а также возможность учитывать и контролировать основные, дополнительные и совмещаемые обязанности персонала, такие как выполнение подготовительных операций, расширение зоны работы.
7. Управление качеством продукции (*QM*, Quality Management) – предоставление данных измерений о качестве продукции, в том числе производственного уровня, обеспечение должного контроля качества и особый контроль «критических точек». Может предложить действия по исправлению ситуации в данной точке на основе анализа корреляционных зависимостей и статистических данных причинно-следственных связей контролируемых событий.
8. Управление производственными процессами (*PM*, Process Management) – отслеживание заданного производственного процесса, автоматическое внесение корректив или предложение соответствующего решения оператору для исправления или повышения качества текущих работ.
9. Управление производственными фондами (техобслуживание) (*MM*, Maintenance Management) – поддержка процесса технического обслуживания, планового и оперативного ремонта производственного и технологического оборудования и инструментов в течение всего производственного процесса.
10. Отслеживание истории продукта (*PTG*, Product Tracking and Genealogy) – предоставление информации о том, где и в каком порядке велась работа с данной продукцией. Информация о состоянии может включать отчет о персонале, работающем с этим видом продукции, компоненты продукции, материалы от поставщика, партию, серийный номер, текущие условия производства, несоответствие установленным нормам, индивидуальный технологический паспорт изделия.
11. Анализ производительности (*PA*, Performance Analysis) – отчеты о реальных результатах производственных операций, сравнение их с предыдущими и ожидаемыми результатами. Представленные отчеты могут включать такие измерения, как использование ресурсов, наличие ресурсов, время цикла производственного ресурса, соответствие плану, стандартам и др.

Важной чертой MES-систем является модульность коммерческого заказа автоматизации: заказчик может сам выбирать, какие именно функции MES-системы ему нужны в первую очередь в условиях ограниченных финансовых средств (инвестиций).

В соответствии со стандартом ISA-95, MES система автоматизации производства должна отвечать на следующие вопросы:

- Как производить (определение как делать продукт)?
- Что может быть произведено (определение доступных ресурсов)?
- Когда и что производить (определение расписания)?
- Когда и что было произведено (определение производительности)?

Бизнес-процессы в рамках производственного предприятия могут быть представлены как совокупность действий, показанных на рисунке 3.2.

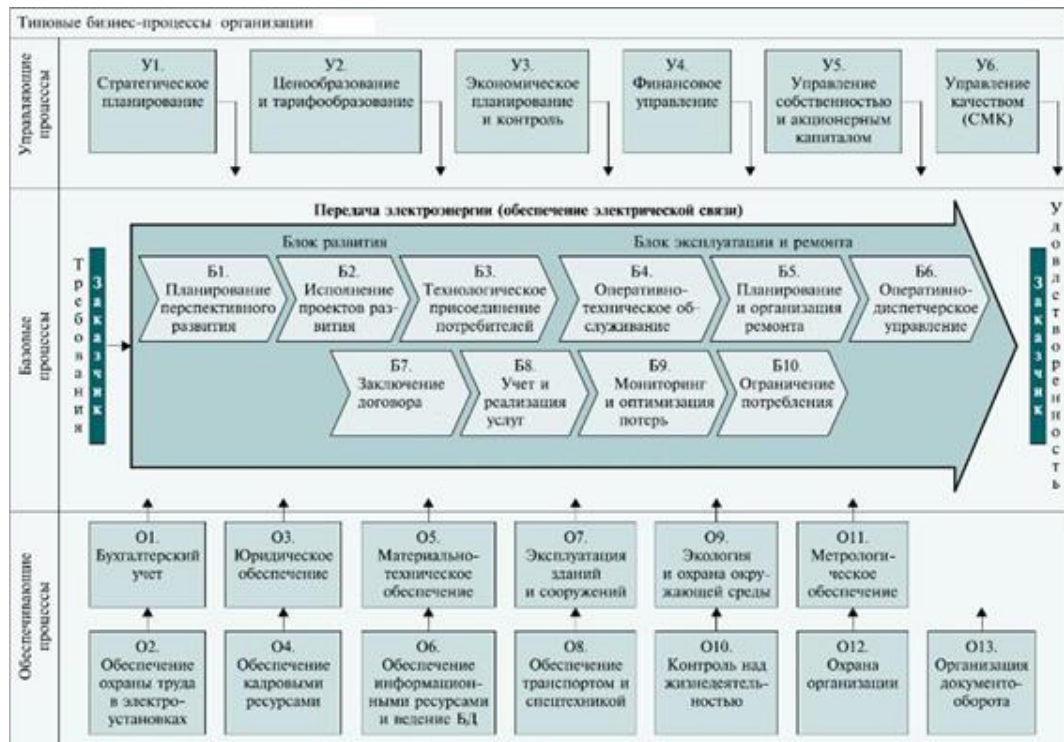


Рис.3.2. Типовые бизнес процессы

В соответствии с ГОСТ Р МЭК 61512 автоматизированная система контроля, технологического, и производственного процесса должна отслеживать каждое из возможных 12 состояний (рис.3.3). Ни в одном из состояний процессов производство не должно быть не управляемым!



Контур управления уровня MES (оперативно-производственный) опирается на отфильтрованную и обработанную информацию, поступающую как от АСУТП, так и от других служб производства (снабжения, технической поддержки, технологических, планово-производственных и т.д.). Интенсивность информационных потоков здесь существенно ниже и связана с задачами оптимизации заданных производственных показателей (качество продукции, производительность, энергосбережение, себестоимость и т.д.). Типовые времена циклов управления составляют, часы, смены, недели. Оперативное управление производством в этом контуре управления осуществляется специалистами, которые более детально, чем высший менеджмент, владеют производственной ситуацией (руководители производственных цехов, участков, главные технологи, энергетики, механики и др.). Благодаря эффективным контурам управления MES обеспечивается повышение качества производств и эффективность принимаемых решений в пределах, делегированных менеджменту цеха полномочий.

Контур управления уровня ERP (стратегический) благодаря MES и АСУ ТП освобождается от решения оперативных задач производства и обеспечивает поддержку бизнес-процессов предприятия в целом. Поток информации от производственного блока становится минимальным и включает в себя агрегированную управляющую и отчетную информацию по стандартам ERP с типовыми временами контроля неделя, декада, месяц, квартал, а также «аварийные» событийные сигналы, требующие немедленного вмешательства высшего менеджмента предприятия.

Совместное применение BI, ERP, MES и АСУ ТП систем позволяет выстраивать единую систему управления предприятием, в которой каждый уровень интеграции выполняет строго заданную функцию: формирование аналитической отчетности, ведение объемно-календарного планирования, расчет оптимального производственного расписания и контроль технологических процессов.

ERP системы постоянно развиваются и в результате этого появляются новые автоматизированные системы предприятия, обеспечивающие управление взаимоотношениями с поставщиками и клиентами, жизненным циклом продукции и цепочками поставок.

На современном рынке средств автоматизации, несмотря на множество производителей оборудования, программного обеспечения и крупных интеграторов, области ответственности АСУТП и систем управления производством (MES, ERP) достаточно отстранены друг от друга, хотя и имеют явные точки пересечения. Более того, элементы информационных систем производственно-хозяйственной деятельности зачастую реализуются в разные периоды времени (от ввода объекта в эксплуатацию до их внедрения может пройти достаточно длительное время).

На начальном этапе АСУ ПП (ERP, MRP) и АСУ ТП развивались обособленно и независимо друг от друга. Изначально они не были подчинены единым целям и задачам, оставались слабо связанными физически и информационно, а чаще не связанными вовсе. Программное обеспечение АСУ ПП и АСУ ТП достаточно долго развивалось автономно и не предусматривалась стандартизация каналов для обмена информацией между ними. Технологии, на которых они проектировались, не учитывали совместной работы этих систем в едином информационном пространстве. Коммутационное оборудование соответствовало только своему уровню.

Появление Ethernet и Web-технологий в АСУТП обеспечило возможность интеграции различных уровней автоматизации предприятия в единое информационное пространство.

Единое информационное пространство позволяет решать все вопросы, заданные на рисунке 3.5.

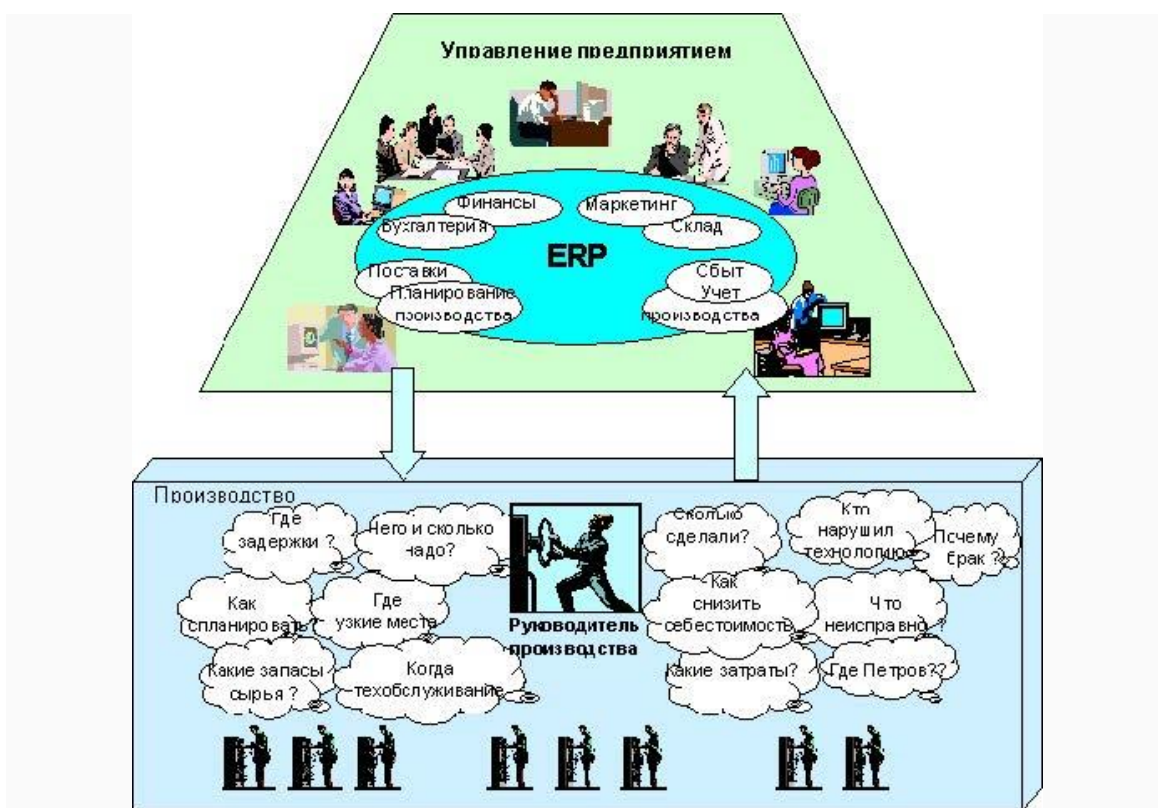


Рис. 3.5. Вопросы, решаемые в едином информационном пространстве управления предприятием

План производства для каждого цеха формируется в системе ERP и загружается в систему MES. На основе информации из базы данных система может построить оптимальный производственный график для каждого участка основного производства. Использование систем MES и SCADA позволяет значительно упростить работу всех участников производственного процесса.

Операторы оборудования получают задания в соответствии с производственным планом цеха, имеют возможность просматривать чертежи и 3D-модели установок, своевременно уведомлять о необходимости ремонта и наладке оборудования, замены инструмента, получать отчетность о выполненных работах за установленный период времени.

Руководство цеха имеет возможность планировать, управлять и контролировать ход производства в информационной системе, а также все необходимые данные для оперативной реакции на возможные изменения в производственном процессе (изменение планов, задержка в выполнении предыдущих, выход из строя оборудования и т.п.).

Диспетчеризация производства на технологическом и цеховом уровнях управления выполняется с использованием человеко-машинного интерфейса (HMI).

Выделяют управляющие, информационные и вспомогательные функции HMI [16-18]. Так SCADA позволяет контролировать отдельные технологические переменные процессов, вести программное управление группой оборудования, технологическими режимами или отдельными участками процессов, а также контролировать и измерять технологические параметры процессов. Пример графического пользовательского интерфейса SCADA-системы показан на рисунке 3.6.

Экранные формы проектируются в соответствии со сценариями, которые следуют регламентным документам технологических процессов.

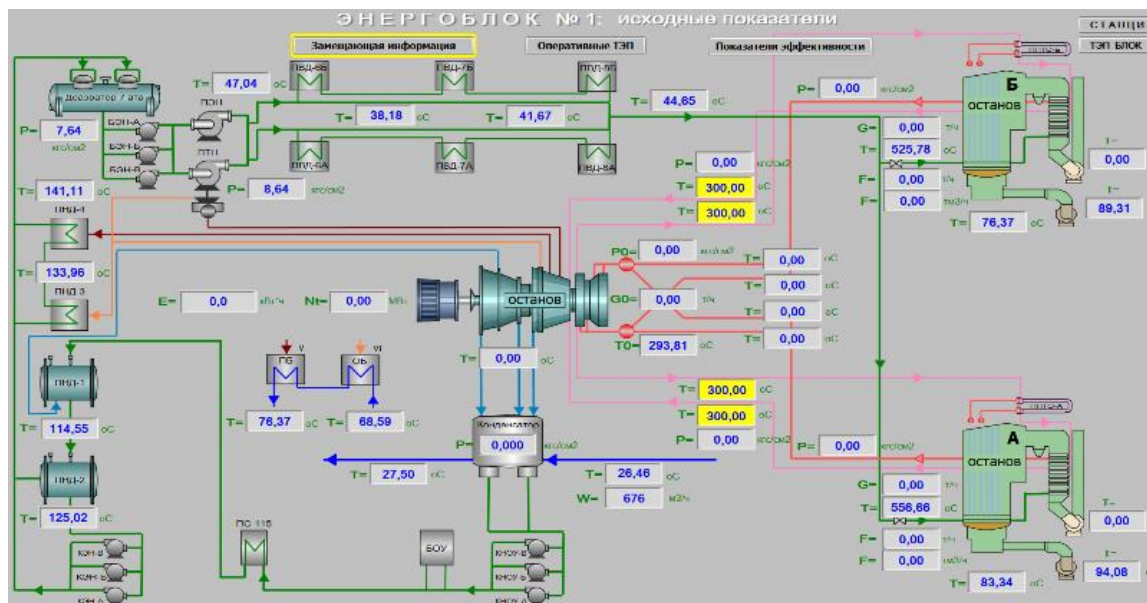


Рис. 3.6. Пример графического пользовательского интерфейса АСУ ТП

MES-уровень задает автоматизацию производственной деятельности предприятия, позволяющую в режиме реального времени планировать, оптимизировать, контролировать и документировать производственные процессы от формирования заказа до выпуска готовой продукции.

Выделяют такие функции HMI MES-систем, как автоматизированный контроль состояния и распределения ресурсов, оперативное/детальное планирование, диспетчеризация производства, управление качеством продукции, производственными процессами, техобслуживанием и ремонтом оборудования, а также анализ производительности. Рисунок 3.7 демонстрирует пример пользовательского интерфейса MES-системы [17].





Рис. 3.7. Графический пользовательский интерфейс MES-системы

Уровень ERP-систем позволяет реализовать стратегию интеграции логистических (закупки, производство, сбыт), финансовых (дебиторы, кредиторы, банки) и кадровых функций компании, ориентированную на оптимизацию ресурсов предприятия посредством специализированного программного обеспечения.

ERP-системы в большинстве своем ведут обработку транзакционных данных и относятся к классу систем OLTP (OnLine Transactional Processing). Аналитическая обработка транзакционных данных, собранных средствами ERP-систем, ведется на уровне OLAP (OnLine Analytical Processing), с использованием автоматизированных BI-систем (Business Intelligence). Пример пользовательского экрана типовой ERP системы приведен на рисунке 3.8.

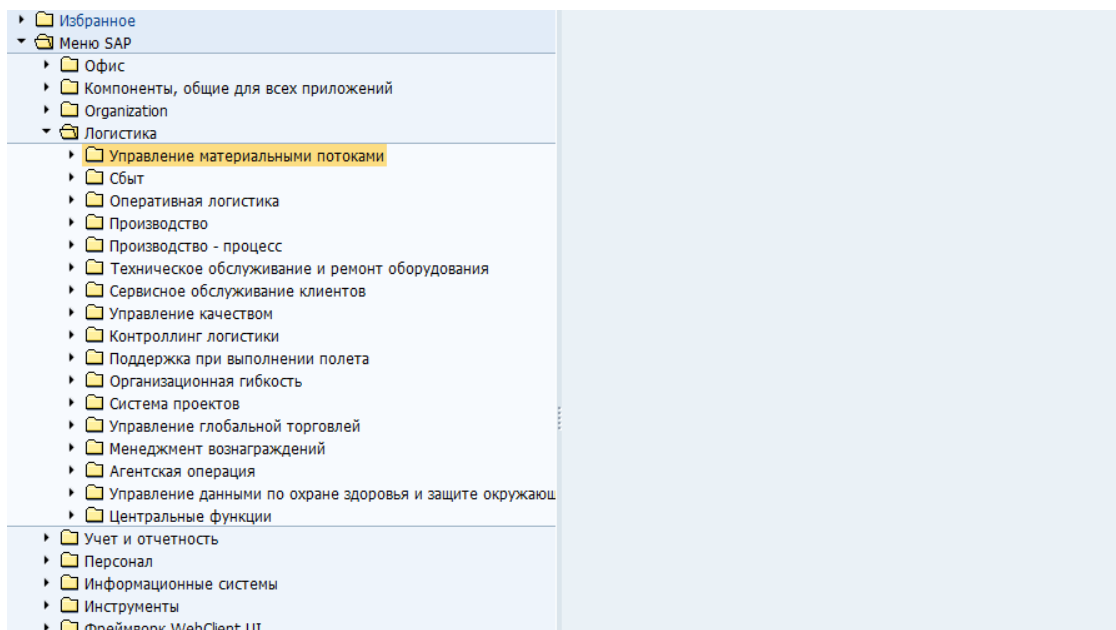


Рис. 3.8. Пример пользовательского интерфейса ERP-системы

Совместное использование указанных уровней автоматизации формирует единую информационную среду предприятия.

Так, уровень АСУ ТП, заданный программируемыми логическими контроллерами, SCADA-системами и базами данных, позволяет вести сбор и обработку технологических данных в режиме реального времени. Обработанная информация передается на уровень MES-систем и используется для оперативного управления производством с учетом взаимозаменяемости и переналадок оборудования. Оперативный план производства данного уровня соотносится с результатами работы ERP-систем по стратегическому планированию и управлению административно-хозяйственными операциями компании. Сводная аналитическая отчетность, полученная на основе транзакционных данных ERP-уровня, определяют финальный шаг автоматизации средствами ВІ-систем (рис.3.9).

Описанный процесс взаимодействия уровней интеграции предприятия позволяет сформулировать задачи, решение которых необходимо для построения производственной информационной среды. Если рассмотреть работу интегрированной среды ERP, MES и АСУ ТП сверху-вниз, то ERP-системы формируют календарный план производства на основе стандарта MRP II (Material Requirement Planning). Созданный план, переданный на уровень MES, служит основой для формирования и последующей оптимизации производственного расписания. Производственное расписание определяет технологические процессы, проводимые и контролируемые на АСУ ТП уровне. Следует отметить, возможны различные сценарии интеграции систем, включая полное ее отсутствие. В последнем случае каждая система будет работать независимо: так, ERP-система будет использоваться для объемного планирования и фиксации результатов производства, MES – объемного/детального планирования и управления производством, а АСУ ТП – для управления технологическими установками.

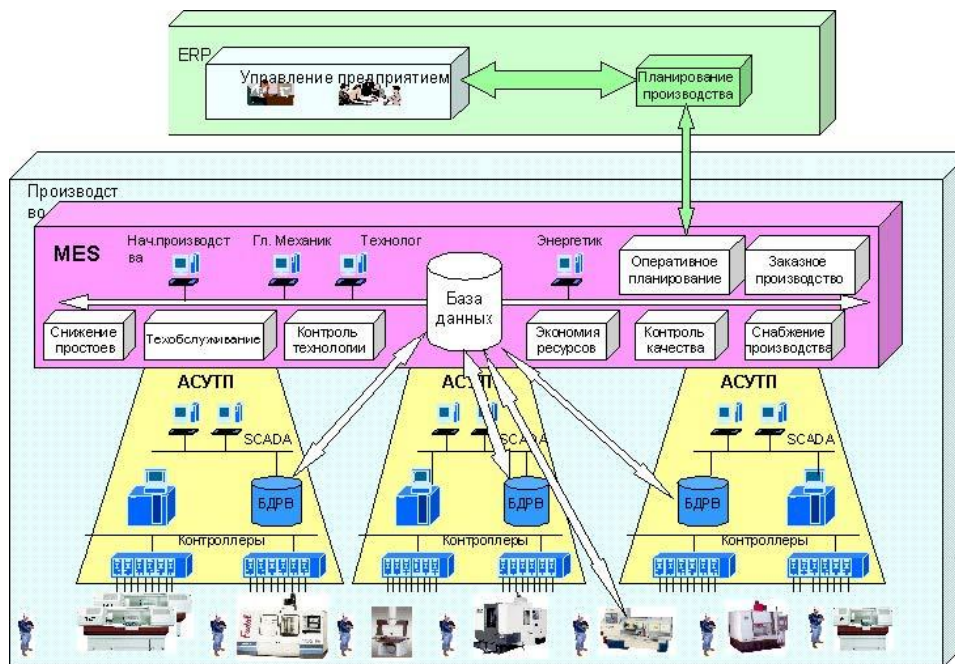


Рис.3.9. Процесс взаимодействия уровней интеграции предприятия

К системам управления производством относят приложения, отвечающие [16]:

- за управление производственными и людскими ресурсами в рамках технологического процесса;
- планирование и контроль последовательности операций технологического процесса;
- управление качеством продукции;
- хранение исходных материалов и произведенной продукции по технологическим подразделениям;
- техническое обслуживание производственного оборудования;
- связь систем ERP, MES и SCADA/DCS.

В MES системе субъектом или лицом, которое принимает решения, является руководитель цеха или отделения АСУ ТП. Задачи этого уровня - управление подчиненными АСУ ТП, логистикой и контроль работы персонала. Также одной из основных задач этого уровня является оптимизация и координация работы всех подчиненных MES АСУ ТП. Функциональные возможности ERP и MES систем показаны на рисунке 3.10.



Рис. 3.10. Функциональные возможности ERP и MES-систем

Обычно формирование и становление систем автоматизации на предприятии происходит постепенно. Известна негативная тенденция. Из-за значительного сдвига времени внедрения система, в конечном счете, обособливается и работает в закрытом от обмена информацией режиме с другими системами автоматизации. Для ослабления этой тенденции ИТ специалисты подстраивают ее за счет поддержки интероперабельности, что позволяет возвращать ее способность взаимодействовать с другими информационными системами.

В производственных процессах, основными и переменными данными, подлежащими интеграции, являются номенклатурные позиции, спецификации, технологические карты и прочие объекты. Интеграция данных затрагивает вопросы сопоставления бизнес объектов, их признаков и размерностей, кроме того, определяется частота и порядок обновления данных.

Проблема интеграции при этом заключается в том, что построение единой производственной системы управления требует объединения информации, а для этого необходимы объединение функциональности систем автоматизации и синхронизация данных всех уровней автоматизации [18].

По большому счету, все множество проблем интеграции ERP и MES систем связано с вопросом разграничения функциональности. Задав функциональное назначение систем, необходимо обеспечить их интеграцию: выбрать технологию интеграции, задать мастер-систему ведения данных, определить объекты миграции и правила их сопоставления.

На практике для синхронизации данных систем требуется разработка интерфейсов обмена, а также использование готовых интеграционных сред. Интерфейс выполняет экстракцию и трансформацию данных, в то время как среда – передачу трансформированных данных в систему получателя. Мастер системой по ведению основных данных чаще всего назначается ERP: создание, изменение и удаление данных ведется централизованно в ERP-системе, MES-система только

использует эти данные без возможности их изменения. Гармонизация данных позволяет выявить особенности их ведения (тип и размерность, количество символов в дробной части), которые закладываются и реализуются в процедурах трансформации.

Обмен и хранение переменных данных ведется по схожей схеме, однако их обработка может инициироваться как из ERP, так и MES-системы. Реализация процессов контроля качества продукции, ремонта оборудования и управления документами ведется преимущественно в ERP-системе. В большинстве проектов системы MES рассматривается и ограничивается функциями, непосредственно связанными с цеховым производством.

Производственное расписание представляется заказом на производство, который содержит всю необходимую для изготовления продукции информацию, включая даты, статусы и комментарии. Созданные на основе плана производства заказы, передаются из ERP в MES-систему. На определенную дату MES-система может содержать несколько заказов, требующих использование заданного оборудования. Поэтому при планировании производства существенно востребованы механизмы оптимизации загрузки оборудования с учетом различных производственных ситуаций. Типовая модель интеграции систем задается рисунком ниже (рис.3.11).

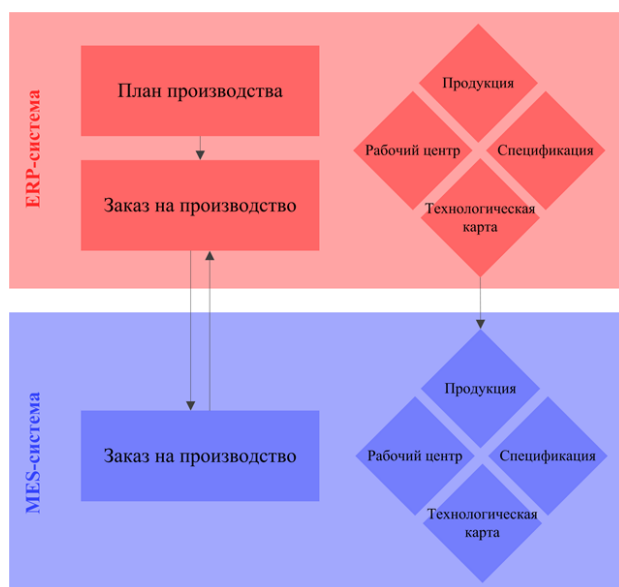


Рис. 3. 11. Модель интеграции ERP и MES-систем

Таким образом, MES управляет текущими процессами производства и контролирует выпуск продукции заданного качества в заданные сроки.

ERP отвечает за объёмное планирование, управление ресурсами предприятия. Согласованная работа этих систем в режиме реального времени, позволяет осуществлять оперативное перепланирование.

Стандартные блоки программного продукта «класса MRP II» обеспечивают:

- прогнозирование;
- управление продажами;
- объемно-календарное планирование - планирование производства;
- управление структурой изделий;

- управление запасами;
- MRP - планирование потребности в материалах;
- CRP - планирование потребности в производственных мощностях;
- управление цехом (возможно - различные модули для серийного, заказного, проектного или непрерывного производств);
- закупки;
- финансы \ бухгалтерия;
- финансовый анализ.

Финансовый взгляд на планирование производства показан на рисунке 3.12 [19].

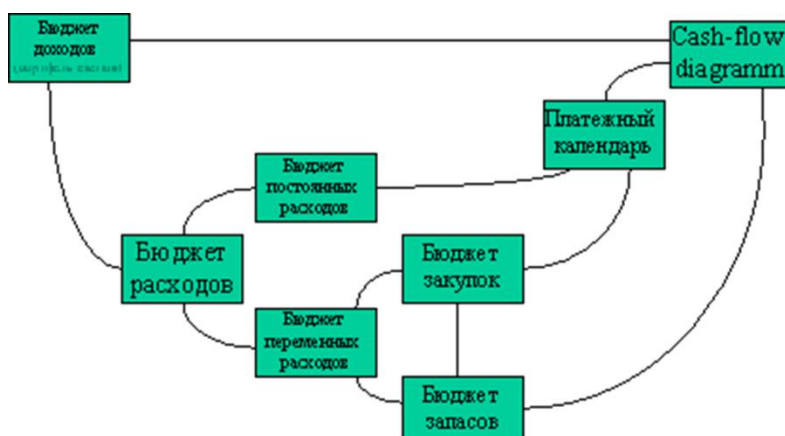


Рис.3.12. Финансовое планирование производства

Одним из главных факторов технологического совершенства производства является эффективная работа основного оборудования. Отсутствие своевременного обслуживания (АС ТОиР) заканчивается остановкой производства после поломки или очередной проверки технадзора, а в случае аварий - гибелью людей и уголовным наказанием должностных лиц предприятия. Многие предприятия отстают по технологическому обслуживанию от западных: оборудование неразумно эксплуатируется и внепланово простаивает, осуществляется дорогостоящий ремонт.

Считается, что в себестоимости продукции предприятий стоимость ремонтов и обслуживания оборудования достигает 30%. Сегодня вопрос простоев и аварийности в работе оборудования выходит на первое место в деле сохранения бизнеса как такового.

Поэтому вопросам обслуживания и ремонта оборудования уделяется первостепенное внимание, как с точки зрения контроля затрат и обеспечения плановой работы производства, так и с точки зрения минимизации промышленных рисков и трагических последствий. Для этого используются системы EAM\_ТОиР. Составляющим этих систем является непрерывный мониторинг состояния оборудования. Так, например, мониторинг вибрационного состояния машины выполняется тег\_каналами SCADA путем сравнения уровня отдельных измерений уровня вибрации с установленными предельными порогами и анализом изменений (рис.3.13).

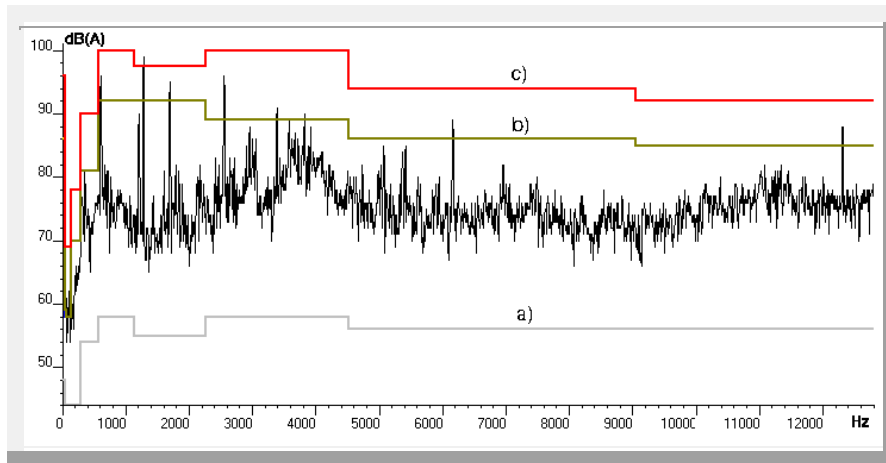


Рис.3.13. Мониторинг вибрационного состояния машины  
 а) порог слабого сигнала вибрации; б) порог среднего сигнала вибрации;  
 с) порог сильного сигнала вибрации

Основными задачами SCADA являются:

1. Визуализация технологического процесса (HMI).
2. Оперативное управление технологическим процессом.
3. Управление аварийными сообщениями и событиями.
4. Анализ исторических данных (трендов).
5. Генерация отчётов.

Различают тег- и объектно-ориентированные SCADA. Процесс разработки приложения тег- ориентированной SCADA включает в себя:

1. Составление таблицы тегов.
2. Разработка экранных форм и мнемосхем.
3. Разработка скриптов.
4. Формирование списка аварийных сообщений.
5. Разработка отчётных форм.

Процесс разработки приложения объектно-ориентированной SCADA:

1. Разработка модели объекта автоматизации.
2. Разработка организационной структуры производства.
3. Разработка библиотеки шаблонов технологических объектов.
4. Разработка мнемосхем и экранных форм человеко-машинного интерфейса.
5. Разработка модели развёртывания объектов по узлам (компьютерам) распределённой SCADA.
6. Привязка прикладных объектов к технологическому процессу.

Разработчик АСУ ТП с использованием объектно-ориентированных SCADA может полностью абстрагироваться от железа (ПЛК, PAC и ПК) и сфокусироваться на технологии и прикладных объектах.

Прикладные объекты – это активы, неделимые технологические атомы (например, насос или задвижка), из которых строится распределённая объектно-ориентированная SCADA.

Объекты-потомки наследуют свойства своих объектов-предков. Это значит, что современную систему автоматизации производства верхнего уровня можно внедрить без тотальной замены старых систем управления нижнего уровня. Миграцию на новое железо нижнего уровня можно проводить постепенно, по мере износа старого оборудования или появления нового финансирования.

Существенным для предприятия является отслеживание продукции на всех его этапах жизненного цикла (ЖЦ) выпускаемой этим предприятием продукции (рис. 3.14). Информация о ней создается, преобразуется, хранится и передается от одного участника ЖЦ к другому при помощи программных средств, объединенных CALS.

К числу таких средств относятся:

- автоматизированные системы конструкторского и технологического проектирования (CAE/CAD/CAM);
- программные средства управления данными об изделии (изделиях) (PDM);
- автоматизированные системы планирования и управления производством и предприятием (MRP/ERP);
- программно-методические средства анализа логистической поддержки и ведения баз данных по результатам такого анализа (LSA/LSAR);
- программные средства управления потоками работ (WF);
- методология и программные средства моделирования и анализа бизнес-процессов (SADT) и др.

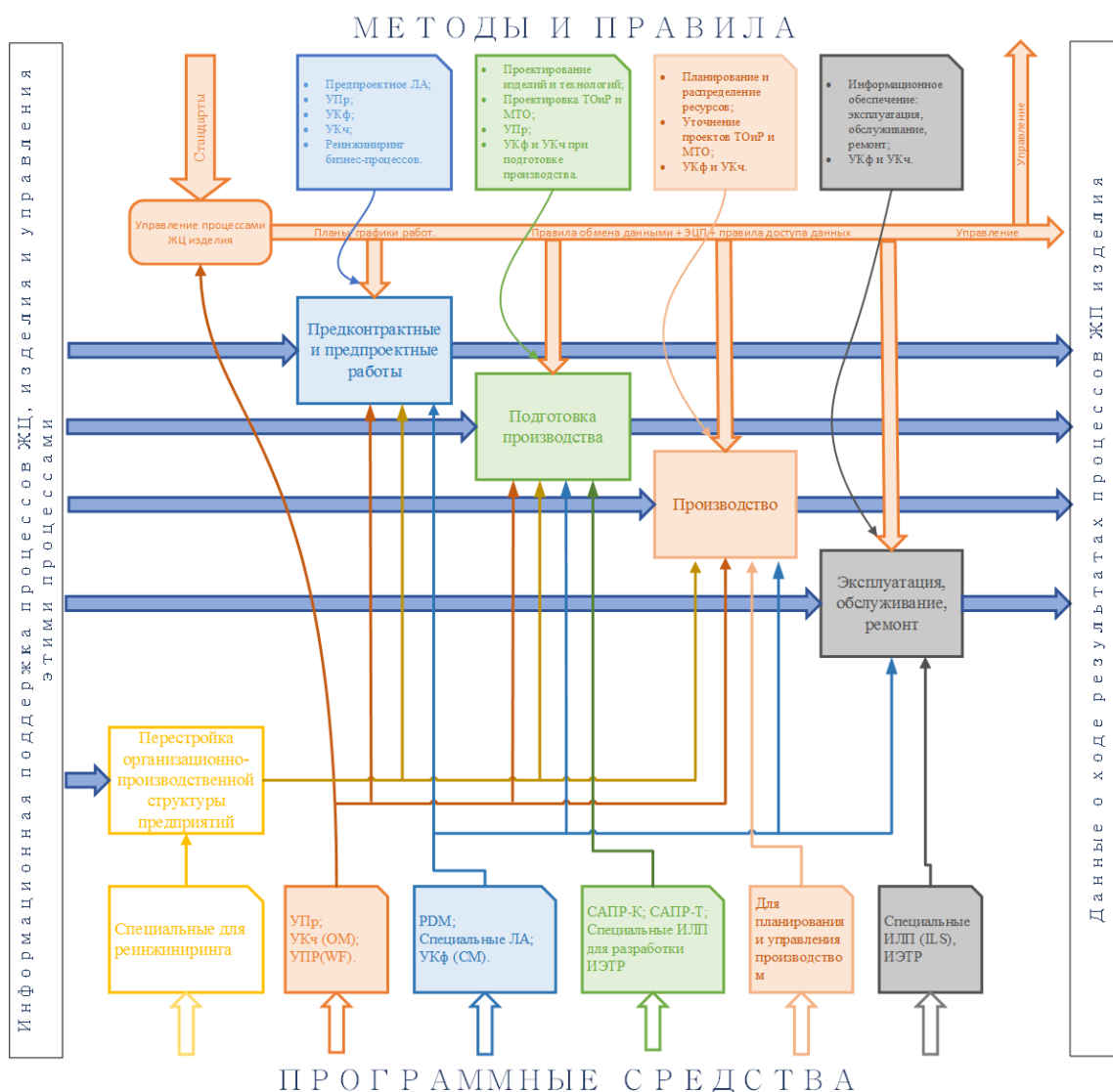


Рис. 3.14. Этапы жизненного цикла продукции



Впервые работы по созданию компьютерных систем управления жизненным циклом производства, поддерживающих логистику предприятия, были начаты в 80-х годах. Доказав свою эффективность, концепция последовательно совершенствовалась, дополнялась и, сохранив начальную аббревиатуру (CALS) основой построения таких систем могут служить рекомендации стандарта ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288 и руководства по его применению ГОСТ Р 57102-2016- ISO/IEC TR 24748-2:2011 ИСО 19760-2003.

Стандарт ISO/IEC 15288:2002 «Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем» (ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288) задает единую структуру для установления и развития связей и кооперации между сторонами, создающими и использующими современные информационные системы и управляющими ими в целях совместной согласованной работы. Такая структура обеспечивает основы для моделирования и реализации общих процессов, составляющих ЖЦ систем, предоставляя возможность для их оценки и совершенствования, и охватывает все концепции и идеи, имеющие отношение к системам автоматизации, начиная от замысла и вплоть до момента снятия их с эксплуатации. Процессы ЖЦ, задаваемые стандартом, могут использоваться однократно, многократно или рекурсивно, как по отношению к системе в целом, так и к любым ее элементам, применяться для систем единичного и массового производства, адаптируемых к требованиям заказчика.

Информационные связи с САПР, ERP, MRP, MES и другими автоматизированными системами предприятия формируют системообразующий характер информации и роли этой системы. База данных служит ядром и в ней хранятся:

- данные о проектах;
- идентификационные и классификационные данные об изделии и его компонентах;
- структура и состав изделия (в форме древовидного графа);
- версии и варианты состава и структуры;
- геометрические модели, чертежи и другие документы в различных форматах;
- характеристики изделия и его компонентов;
- данные о материалах, стандартных деталях, комплектующих изделиях и т.д.;
- данные о технологии изготовления.

В функции системы управления базой данных СУБД CALS входит:

- помещение информации в базу данных (БД);
- хранение информации (в т.ч. создание резервных копий);
- обновление данных (ввод новых данных взамен утративших актуальность);
- обеспечение достоверности и целостности данных;
- поиск данных по различным признакам;
- создание отчетов;
- установление (изменение) и оперативная проверка прав доступа пользователей к данным.

Анализ результатов применения CALS технологии позволяет установить основные преимущества ее применения:

1. Компьютерная автоматизация позволяет повысить производительность основных процессов и операций создания информации.
2. Информационная интеграция процессов обеспечивает совместное и многократное использование одних и тех же данных. Благодаря этому

достигается повышение эффективности интеграции за счет минимизации числа и сложности вспомогательных процессов и операций, связанных с поиском, преобразованием и передачей информации. Поскольку доля вспомогательных процессов и операций в общем цикле достаточно велика, сокращение связанных с ними затрат времени и средств является существенным фактором экономии.

3. Обеспечивается переход к цифровизации процессов и применение новых моделей их организации. Переход от бумажного документооборота к электронному позволяет: многократно ускорить доставку документов нужным лицам, обеспечить параллельность обсуждения, контроля и утверждения результатов работы, существенно сократить длительность процессов.

Основными функциями управления данными об изделии в CALS являются:

- управление структурой и составом изделия (на схеме эта функция раскрыта более подробно);
- управление технологическими данными об изделии;
- управление ролями исполнителей;
- управление вспомогательными данными;
- регистрация статусов документов и их изменений.

В рамках становления стратегии управления жизненным циклом продукцией используется концепция PLM (Product Lifecycle Management).

Концепция PLM предполагает, что создается единая информационная (цифровая) база, описывающая три краеугольных компонента: продукция-процессы-ресурсы и взаимосвязи между ними. Наличие такой объединенной модели обеспечивает возможность быстро, эффективно увязывать управление этими компонентами, оптимизируя решение в соответствии с установленными требованиями бизнеса.

Технология PLM позволяет за счет комплексных внедрений и реформирования производства непрерывно «CALS-сопровождать» продукцию. Эта система делает доступной информацию о продукции на любой ее стадии для всех подразделений, как отдельного предприятия, так и компании в целом, поставщиков, партнеров, а также заказчиков и клиентов. В результате возрастает эффективность производственных процессов, существенно упрощается использование информации о продукции, соответственно повышается скорость и качество принимаемых на всех этапах производства решений, уровень работы с поставщиками и обслуживания клиентов.

## РАЗДЕЛ 4. ИНТЕГРИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ MATRIX, PWC, CIM

Применительно к иерархически организованной системе управления производством различают горизонтальную и вертикальную интеграции АС (рис. 4.1) [19,23].

В общем случае горизонтальная интеграция предполагает объединение и взаимодействие АС одного уровня иерархии производственного менеджмента (например, АС управления технологическим процессом, ПАЗ, АС управления ТООиР и др.), а вертикальная – разных уровней (например, АСУ ТП, АСУ управления цехом, АСУ управления бизнесом предприятия).

Целью интеграции АС является установление способов (правил) организации взаимосвязи и взаимодействия отдельных подразделений и систем менеджмента предприятия, позволяющее получить синергетический эффект управления производственными процессами.

Атрибутами *вертикальной интеграции* обычно выбираются такие показатели как дискретность оси времени, в единицах которой функционируют информационные системы и объемы данных, обрабатываемые на каждом уровне модели.

В общем виде можно сказать, что *системы верхнего уровня оперируют агрегированными данными на относительно больших временных промежутках, а системы нижнего уровня имеют дело с большим потоком данных реального времени.* В связи с этим в рамках концепции ИСПУ часто используют понятие пирамиды информационных систем. Каждое сечение такой пирамиды имеет площадь, пропорциональную объему обрабатываемых данных. На вершине этот объем минимален, в основании – максимален (рис.4.1).

Для связи верхней части пирамиды (уровень принятия решений высшим руководством предприятия) с событиями реального времени в ее основании применяются промежуточные системы производственного уровня (в частности, системы MES), специальные протоколы и стандартные интерфейсы. В таком развернутом виде модель ИКСУ имеет много общего с моделями взаимодействия открытых систем OSI, с использованием которых строятся современные протоколы обмена данными в Интернете. Один из вариантов модели ИКСУ в упрощенном виде приведен на рис. 4.1 (см. также табл. 1.1).

Таблица 1.1

*Характеристики уровней модели ИКСУ*

Уро вни	Основные функции	Информационные системы	Обрабатываемые данные	Диапазон времени
4	ERP: планирование, составление расписаний, логистика	СУБ приложения, средства интеграции	Планирование и распределение ресурсов для достижения поставленных целей	Дни, недели, месяцы
3	MES: интеграция внутрицеховых приложений	Хранилища исторической информации, СУБД	Контроль хода выполнения производственных процессов	Минуты, часы

Уровни	Основные функции	Информационные системы	Обрабатываемые данные	Диапазон времени
2	SCADA: системы промышленной автоматизации контроля процессов	АСУ ТП	Управление единицей оборудования или одним процессом	Секунды, минуты
1	Базовые системы контроля	Контроллеры, “программные датчики”	Способность поддерживать значение измеряемой переменной в заданных рамках	Миллисекунд, секунды
0	Сбор информации, датчики, сенсоры	Сенсоры	Текущее состояние измеряемой переменной	Непрерывная шкала времени

Вертикальная интеграция направлена на комплексное объединение информации систем автоматизированного проектирования, систем автоматизации технологических и производственных процессов, а также корпоративных систем (планово-экономических, логистических, финансовых, управлением персоналом) в единую интегрированную информационную систему. Это обеспечивает необходимый обмен данными в реальном масштабе времени между всеми подразделениями управленческого уровня, основного и вспомогательного производства [21].

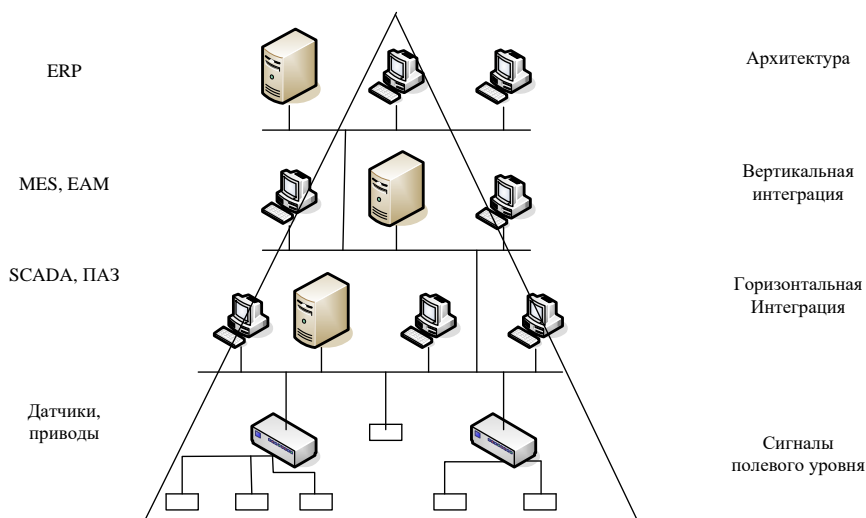


Рис.4.1. Иерархическая структура системной интеграции автоматизированной системы

Вертикальная интеграция АС формируется путем организации потоков информации от нижнего уровня (датчиков и контроллеров технологического оборудования, АСУ ТП), от автоматизированных систем управления проектирования и производственной деятельностью в вычислительные сети предприятия в целом и информационные системы (КИС, ERP, MRP). Это позволяет более эффективно управлять ресурсами для достижения стратегических целей предприятия.

Горизонтальная интеграция объединяет данные, поставляемые отдельными подсистемами, диспетчерскому уровню управления. Это позволяет более эффективно

управлять решением технологических и производственных задач в реальном масштабе времени.

При горизонтальной интеграции предполагается, что единый центр оперативного управления, оснащенный автоматизированной системой диспетчерского управления, должен осуществлять решение следующих задач:

- оперативный мониторинг производственного и технологического процессов, осуществляемый в реальном масштабе времени;
- получение и обработка технологической, производственной информации и указаний (заданий) от верхнего (стратегического) звена управления предприятием;
- оперативное корректирующее управление материальными и энергетическими потоками в соответствии с изменениями производственной ситуации и указаниями вышестоящего уровня управления;
- оперативное корректирующее управление запасами и производственными ресурсами;
- мониторинг и управление качеством производства;
- контроль и, при необходимости, корректирующее воздействие по управлению отдельными, наиболее важными технологическими установками (рабочими центрами);
- прогностический анализ возникновения сбоев, отказов и аварийных ситуаций и формирование демпфирующих корректирующих управлений;
- автоматизированное накопление и хранение производственного опыта в информационном хранилище и т.п.

*Анализ развития информационных технологий* в производственных задачах показывает, что основной тенденцией автоматизации производства является все более полный охват ими всех стадий жизненного цикла (ЖЦ) производства и это требует создания интегрированной информационной среды, интегрированной системы автоматизированного управления производственными процессами.

Данный подход характеризуется следующими принципиальными особенностями:

- в отличие от компьютерной автоматизации отдельных процессов в ИКСУ решаются задачи информационной интеграции всех процессов ЖЦ;
- решаемые задачи могут выходить за границы отдельного предприятия, участники информационного взаимодействия могут быть территориально удалены друг от друга, располагаться в разных городах и даже странах;
- основной средой передачи данных является внутренняя сеть предприятия Интранет и глобальная сеть Интернет.

При построении архитектуры должны быть заложены следующие свойства будущей ИКСУ:

- тестируемость (возможность установления факта правильного функционирования);
- ремонтпригодность (возможность восстановления работоспособности за минимальное время при экономически оправданной стоимости ремонта);
- надежность (например, путем резервирования компонентов системы);
- простота обслуживания и эксплуатации (минимальные требования к квалификации и дополнительному обучению эксплуатирующего персонала);
- безопасность (соответствие требованиям промышленной безопасности и технике безопасности);

- защищенность системы от вандалов и неквалифицированных пользователей;
- экономичность (экономическая эффективность в процессе функционирования);
- модифицируемость (возможность перенастройки для работы с другими технологическими процессами);
- функциональная расширяемость (возможность ввода в систему дополнительных функциональных возможностей, не предусмотренных в техническом задании);
- наращиваемость (возможность увеличения размера автоматизированной системы при увеличении размера объекта автоматизации);
- открытость;
- максимальная длительность жизненного цикла системы без существенного морального старения, достигаемая путем периодического обновления аппаратных и программных компонентов, а также путем выбора долгоживущих промышленных стандартов.

Архитектура системы может быть различной в зависимости от решаемой задачи автоматизации. Такими задачами могут быть:

- непрерывный мониторинг (продолжительные измерения и контроль с архивированием полученной информации);
- автоматическое управление (в системе с обратной связью или без нее);
- автоматизированное диспетчерское управление (управление с помощью человека-диспетчера, который взаимодействует с системой через человеко-машинный интерфейс);
- интегрированное управление деятельностью предприятия;
- обеспечение технологической безопасности.

Непрерывная самоорганизация и эволюция производства, имеющая своим исходом образование нового порядка, в частности, в деятельности предприятия, может произойти лишь при использовании систем управления достаточного уровня сложности, обладающих определённым количеством взаимодействующих между собой элементов, имеющих некоторые критические параметры связи и относительно высокие возможности для собственной изменчивости. В противном случае эффекты от синергетического взаимодействия будут недостаточны для появления коллективного поведения элементов системы и тем самым для возникновения самоорганизации. ИКСУ должна быть сложной, состоящей из множества АС открытого типа и связей между ними. Недостаточно структурно-сложные системы не способны ни к самоорганизации, ни, тем более, к развитию. При получении извне чрезмерного количества информационной энергии (например, новых информационных технологий) они теряют свою структуру и необратимо разрушаются. Следует отметить, что структурная сложность систем автоматизации как производственных, так и технологических процессов в нефтегазовой отрасли быстро растет и это указывает на возможность получения на различных объектах НГО получения синергетического эффекта АС.

Системным требованием синергетики является открытость всех АС управления деятельностью предприятия. Закрытые системы в соответствии с законами термодинамики должны в конечном итоге прийти к состоянию с максимальной энтропией и тем самым остановить развитие (самосовершенствование) управления организацией в целом.

С другой стороны, системная реализация возможности изменчивости в такой архитектуре не должна приводить к хаосу, вызванному внутренней неуправляемостью АС.

Основным приемом построения открытой архитектуры ИКСУ служит построение функционального стандарта автоматизированного предприятия, его ИТ-профиля.

*Профиль стандартов* – это «совокупность нескольких базовых стандартов (и других нормативных документов) с четко определенными и гармонизированными подмножествами обязательных и факультативных возможностей, предназначенная для реализации заданной функции или группы функций».

ИТ-профиль АС – это согласованный набор правил (базовых стандартов), предназначенный для решения задачи интегрированного управления предприятием. ИТ-профиль позволяет проектировать и развивать ИКСУ на всем его жизненном цикле наиболее экономичным образом. Если все программно-аппаратные средства, поставляемые различными производителями, будут соответствовать профилю, то они будут работать в единой среде, где будет обеспечена переносимость приложений, взаимодействие и функциональная расширяемость.

Для корректного применения *описание профилей стандартов должно содержать:*

- определение целей, которых хотелось бы достичь, применяя данный профиль;
- перечисление функций продукта или процесса стандартизации, определяемого данным профилем;
- формализованные сценарии применения базовых стандартов и спецификаций, включенных в данный профиль;
- перечень требований к системе или к её компонентам, которые определяют соответствие профиля требованиям к тестированию соответствия;
- перечисление набора стандартов и других документов, которые составляют профиль, с точным указанием используемых положений, редакций и ограничений, способных оказать влияние на достижение корректного взаимодействия объектов стандартизации при использовании данного профиля;
- информационные ссылки на спецификации тестов проверки соответствия профилю».

Международные требования ИКСУ описаны в стандартах: S-88, MESA, S-95, OPC, ODBC, SQL, CALS, PLM, PlantWeb, BACtalk и др. [20].

Выбор профиля стандартов на подготовительной стадии проекта ИКСУ обеспечивает четкое понимание того, как они могут уменьшить риск и помочь в принятии решений.

В результате такой стандартизации число ошибок минимизируется и тем самым обеспечивается полнота и целостность информации.

Оптимизация условий выполнения производственных процессов является основной задачей каждого промышленного предприятия. Прибыль повышается за счет достижения максимального выхода коммерческой продукции при минимальных затратах. В процессе достижения этой цели полный мониторинг и управление в режиме реального времени каждым входящим сырьевым потоком и исходящим полуфабрикатным потоком является необходимым требованием для обеспечения:

1. Минимального влияния изменений исходной продукции на производительность по составу выходной продукции.

2. Минимального влияния переключения сырья разных поставщиков на качественные параметры выходной продукции.
3. Максимального производства наиболее ценной выходной продукции.  
Максимальная прибыль достигается посредством:
  - максимальной стабильности качественных параметров каждого продукта на протяжении всего процесса производства;
  - минимизации потребления исходных ресурсов для получения готовой продукции.

Для снижения стоимости, для достижения максимальной производственной эффективности и выхода ценных продуктов необходимо постоянное регулирование и корректировка рабочих условий производства.

Оперативное управление современными сложными производствами представляет значительную проблему, так как многие процессы требуют высокую точность соответствия установленной рецептуре производства и потребляют значительную энергию. В результате взаимодействия между различными технологическими единицами становятся более сложными.

*Управляемость* завода с использованием ИКСУ является способностью достигать приемлемой работы контроля производства, то есть, держать регулируемые переменные всегда в пределах указанных границ от их установочных, желаемых значений, несмотря на неопределенность сигнала (нарушения режима, шум). Другими словами, завод управляем, если существует некий автоматизированный (автоматический) регулятор, который обеспечивает достижение его стратегических целей.

Управляемость заводом в целом (Plant Wide Control) концептуально предполагает, что используется самый лучший многовариантный регулятор предприятия в целом. Однако в реальности вместо него используются множество локальных регуляторов, постоянно настраиваемых и перестраиваемых в процессе их эксплуатации.

PWC-управление относится к структурным и стратегическим решениям, участвующим в разработке системы управления в целом заводом и является систематическим (математическим) подходом к решению проблемы его управления. Для решения проблемы оптимизации управления производственными процессами на заводе в целом необходима автоматизация, выходящая за рамки контроля отдельных подразделений. Завод является автоматически регулирующийся, если в каждый момент времени можно держать ключевые показатели отдельных подразделений в пределах приемлемых границ. Концепция Plant Wide Control не означает оптимизации каждого из этих контуров управления. Концепция, скорее философия, оптимизации управления завода в целом с упором на компромиссные структурные решения автоматизации технологических и производственных процессов в каждом подразделении. Структурное решение включает выбор и размещение исполнительных устройств и измерений, а также разложение общей проблемы на более мелкие подзадачи (управление конфигурацией) в соответствии с критериальной метрикой оптимизации [22].

С математической точки зрения оптимизация процесса производства заключается в нахождении экстремума функции, связанной с эффективностью производственного процесса.



Критерием оптимизации (или критерием оптимальности) называют количественную оценку качества функционирования производства.

Для обозначения показателя, экстремум которого соответствует оптимальному решению, используется большой набор терминов: функция цели (целевая функция), функция отклика, параметр оптимизации, критерий оптимизации и др. Чаще всего эти термины рассматриваются как синонимы.

На основании выбранного критерия оптимизации составляется так называемая целевая функция, представляющая собой зависимость критерия эффективности от параметров, влияющих на его значение.

Понятие критерий оптимизации надо четко различать с понятием цель оптимизации. Целью оптимизации промышленного предприятия является получение заданного объема продукта (вещества) с заданными параметрами. С понятиями критерия оптимизации и целью оптимизации тесно связаны такие понятия как граничные условия по входным, выходным и управляющим параметрам системы. Граничными условиями выполнения процессов называют такие, в рамках которых могут варьироваться входные, выходные и управляющие параметрам системы (например, температура как управляющий параметр процесса может варьироваться только в определенном диапазоне). Критерий оптимизации имеет смысл, если при его определении учтены граничные условия по входным, выходным и управляющим параметрам системы.

Обычно считается, что как при разработке и проектировании производства, так и при управлении им, оптимальным является решение, обеспечивающее наибольшую экономическую эффективность производства. Для самостоятельного производственного комплекса, исходные и конечные продукты которого являются товарными, это положение стало общепризнанным. В случае отдельных аппаратов и узлов технологической схемы наряду с критерием эффективности используют и так называемые «технологические» критерии.

Основная трудность в формировании экономического критерия оптимизации обусловлена тем, что из математической постановки задачи вытекает требование использовать в качестве критерия единственный обобщенный показатель. В то же время экономическая эффективность производства имеет множество частных аспектов, и для их оценки применяются многочисленные самостоятельные показатели, в том числе такие, как производительность, себестоимость продукции, прибыль, рентабельность и др.

Важно отметить, что при выборе обобщенного показателя речь идет не только об учете в той или иной степени нескольких аспектов экономической эффективности, но и о сопоставлении их в эквивалентных соотношениях, которые позволяли бы соизмерять выигрыш за счет улучшения одних показателей с проигрышем за счет ухудшения других.

Необходимость такого сопоставления вытекает из компромиссного характера большинства задач оптимизации. Компромиссный характер оптимизации обусловлен тем, что варьирование параметров в окрестностях оптимума приводит, как правило, к благоприятному изменению лишь некоторых частных показателей эффективности и одновременно сопровождается неблагоприятным изменением остальных частных показателей. Так, например, при снижении себестоимости продукции, вследствие более полной конверсии исходных продуктов реакции, требуется увеличение объема реактора, т.е. происходит рост капитальных затрат. Увеличение качества продукта, при прочих равных условиях, часто может быть достигнуто при увеличении

капитальных и эксплуатационных затрат по узлу разделения. Следует отметить, что в некоторых случаях оптимальный компромисс может находиться за пределами допустимых значений варьируемых параметров, ограниченных теми или иными техническими условиями, требованиями безопасности и т.п. Оптимальные условия выбираются из нескольких или множества альтернативных вариантов. При этом приходится решать компромиссную задачу.

Система управления PWC, разделённая на несколько слоев, представлена на рисунке 4.2. Слои включают: планирование производства (недели), оптимизацию наряда (день), локальную оптимизацию технологического процесса (час), прогнозирующий контроль (минуты) и регулирующий контроль (секунды). Слой оптимизации обычно повторно вычисляет новые задание только раз в час, тогда как слой обратной связи функционирует непрерывно.

#### СТРУКТУРА УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА

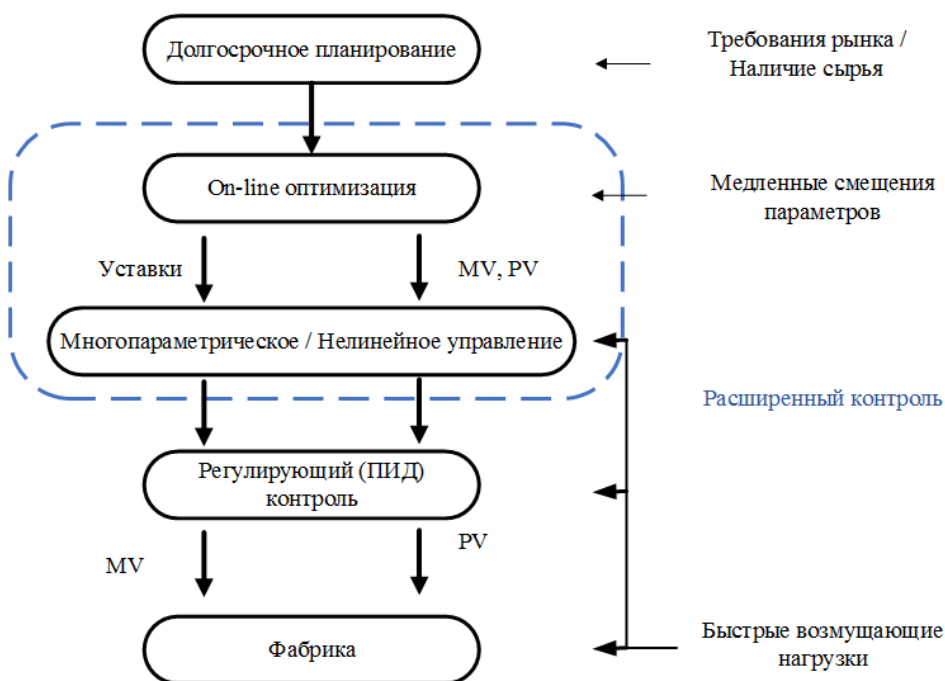


Рис. 4.2. Слои PWC управления производством

Слои связаны регулируемыми переменными, посредством чего задания (уставки САР) вычисляются верхним слоем и выполняются более низким слоем. В структурах усовершенствованных систем управления (АРС) для повышения эффективности управления используются модельные вычисления.

Конечно, теоретически можно использовать единственный регулятор оптимизации, который стабилизирует процесс и в то же самое время отлично координирует все переменные, которыми управляют, основанные на динамической онлайн оптимизации. Однако есть фундаментальные причины, почему такое управление не является лучшим, даже с сегодняшней или завтрашней вычислительной мощностью. Основная фундаментальная причина – стоимость моделирования и управление с обратной связью.

Традиционные системы управления с одним контуром автоматического регулирования могут усложняться, особенно если каскады в большой степени вложены или если присутствие ограничений во время операции заставляет использовать логику переключателей. Многие решения такой автоматизации строятся с использованием модельного управления.

Модельное управление в реальном масштабе времени используется потому, что оно дает эффект окупаемости с точки зрения простоты и/или улучшенной работы, и это обычно будет в более высоких слоях в иерархии контроля.

Необходимость интеграции различных или имеющихся автоматизированных систем на предприятиях и холдингах увеличивается все больше и больше. В настоящее время на предприятиях в большей или меньшей степени автоматизированы технологические процессы, с помощью слабо связанных между собой систем АСУТП (DCS & SCADA) и ERP.

К сожалению, заметного повышения управляемости производством (предприятием в целом, Plant Wide Control) не произошло, большей частью все свелось к внедрению программно-аппаратных средств подготовки документов установленного образца. Системы для автоматизации различных процессов контроля и управления предприятием или его частью часто функционируют независимо друг от друга и выполняют локализованные функции.

Примером перспективного ИКСУ для внедрения является интегрированная компьютерная система управления Matrix [21,24]. Она предназначена для построения:

- систем управления производством продукции, цехами или предприятиями;
- систем управления технологическими процессами цехов или предприятий.

ИКСУ Matrix является системой нового поколения, которая предназначена для сбора, анализа информации и событийного (ситуационного) управления производством. Работа системы основана на знаниях о предметной области (области контроля и управления). Новые технологии, заложенные в систему, позволяют формировать высокий потенциал эффективности управления предприятиями.

Ниже приведена таблица функций, реализуемых ИКСУ Matrix.

Таблица 1.3

*Реализуемые АС Matrix*

Сокращенное название системы	Описание
АСОДУ, MES	Автоматизированная система оперативного диспетчерского управления производством
АСДУЭ	Автоматизированная система диспетчерского управления электроэнергией
ТОиР, CMMS EAM	Система технического обслуживания и ремонтов Автоматизированная система обслуживания оборудования предприятия
СППР, DSS	Система поддержки принятия решений
Тренажер	Тренажерный комплекс (по количеству цехов)

ИКСУ Matrix объединяет в себе, помимо функций классической MES системы, много функций из других систем, не только из перечисленных выше. Она позволяет создать единую распределенную систему управления холдингами, предприятиями,

интегрирующую оборудование/платформы от разных производителей и обладает мультиплатформенностью применения, позволяет легко функционально масштабировать различные части функций АСОДУ (MES & APS & EAM).

Интеграция автоматизированных подсистем в ИКСУ Matrix осуществляется следующим образом. Как правило, на предприятиях имеется большое количество систем и подсистем различного назначения, закупленных в разное время у разных производителей. Часто такие системы функционируют обособленно друг от друга, что понижает их эффективность в целом. Часть систем требует модернизации. Разобщенность информационных потоков часто не позволяет правильно оценить состояние оборудования, цеха или предприятия в целом, что может привести к увеличению эксплуатационных затрат и ошибкам при анализе производственных неполадок [25].

Matrix позволяет интегрировать разнородные комплексы и подсистемы АСУТП (DCS & SCADA), системы видеоконтроля, аналитическое и др. оборудование в единую систему управления производством.

Matrix – модульная система, позволяющая в зависимости от задач, поставленных заказчиком, формировать соответствующий набор функциональных модулей и их техническую реализацию.

В зависимости от назначения системы (заказчика) Matrix с одинаковым успехом может работать на технологов, механиков, энергетиков и специалистов КИПиА или любую комбинацию назначений.

При проектировании ИКСУ в соответствии с правилами ведения технологического режима из регламентов и инструкций, конфигурируются формы базы данных и формы по персоналу с учетом сведений о каждом из специалистов, всех работников, включая обходчиков и операторов центрального пульта управления.

Так при конфигурировании автоматизированной системы для управления техническим обслуживанием структурная схема автоматизированной системы управления может включать в себя набор модулей Matrix, показанный на рисунке 4.3.

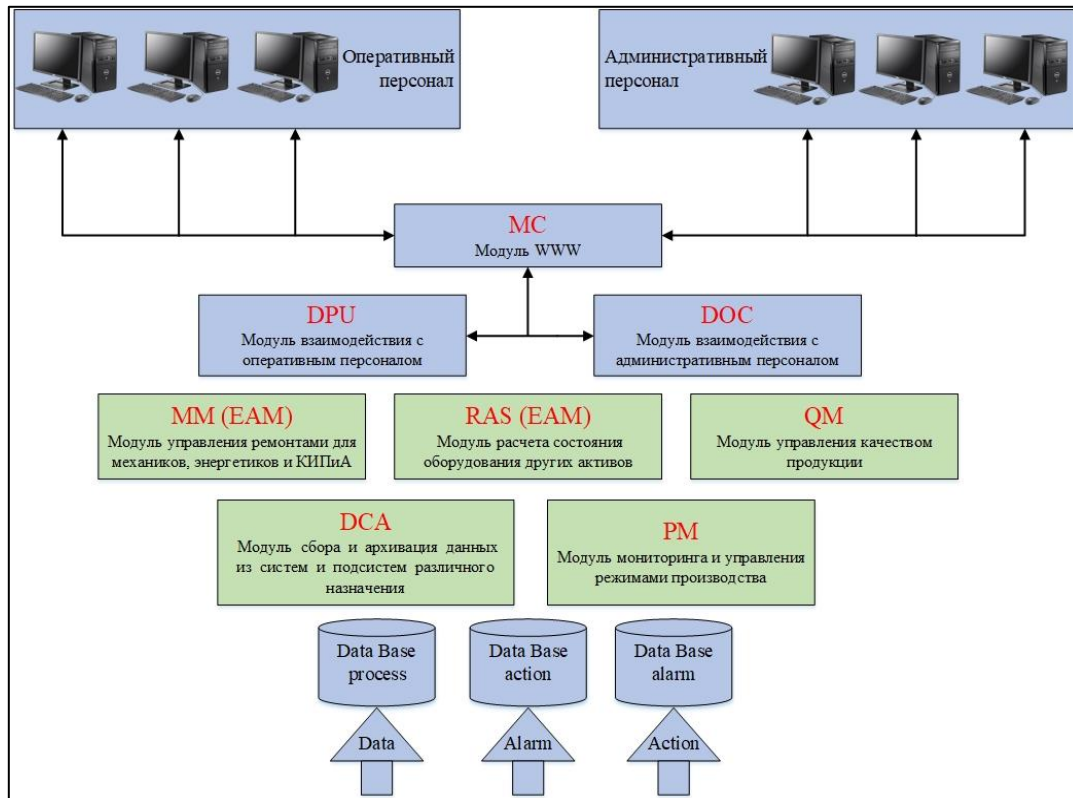


Рис. 4.3. Структурная схема сконфигурированной автоматизированной системы управления техническим обслуживанием

Здесь модуль MC является WWW-порталом системы. Модуль DPU предназначен для эффективного взаимодействия работников цеха. С его помощью осуществляется ранжирование и адресная передача данных и сообщений, с учетом профессиональной принадлежности и административной подчиненности работников. Основными пользователями DPU являются диспетчер цеха или предприятия в целом, оперативный и административный персонал предприятия.

Управление документами и сообщениями (модуль DOC) обеспечивает передачу и сохранение данных, документов по службам технологов, механиков, энергетиков и слесарей предприятия. Все сообщения, сформированные в автоматическом режиме другими подсистемами ИКСУ Matrix, введенные в систему распоряжения или указания для персонала предприятия всех уровней, направляются в подсистему DOC.

Назначение модуля MM – управление техобслуживанием и ремонтом. С его помощью:

- отслеживается и управляется обслуживанием оборудования и инструментов;
- обеспечивается их работоспособность, планирование периодического и предупредительного ремонтов, ремонта по состоянию;
- накапливается и сохраняется история произошедших событий (отказы, уменьшение производительности и др.), которая используется в диагностировании возникших и предупреждении возможных проблем.

Контроль состояния ресурсов (модуль RAS) предназначен для контроля состояния технологического оборудования, оборудования энергетиков и слесарей КИПиА и других активов предприятия. Мониторинг их состояния позволяет

своевременно определить зарождение проблемы в оборудовании, ее развитие и обеспечивает прогнозирование состояния оборудования.

Назначение модуля QM - управление качеством. С помощью модуля QM обеспечивается мониторинг, диагностика и управление качеством выпускаемой продукции, контролируется качество ведения технологического режима, качество выполняемых операций в рамках цеха или производства. Этот модуль обеспечивает анализ в реальном времени измеряемых показателей, полученных от производства, для гарантированно правильного управления качеством продукции и определения проблем, требующих вмешательства обслуживающего персонала. Данная функция формирует рекомендации по устранению проблем, определяет причины брака путём анализа взаимосвязи симптомов, действий персонала и результатов этих действий.

Модуль сбора и архивация данных DCA используется для управления информацией в ИКСУ. Для обеспечения отказоустойчивости ИКСУ с ее помощью выполняется проверка на достоверность поступающей информации по косвенным и дублирующим параметрам. При прерываниях в работе сетевых сервисов между цехами и вычислительным центром используется функция восстановления данных, осуществляется непрерывное сохранение получаемых данных для истории процесса и статистического анализа.

Модуль РМ позволяет отслеживать производственный процесс и обеспечивает поддержку принятия решений оператором для выполнения корректирующих действий и усовершенствования производственной деятельности. Он может включать управление тревогами аварийных ситуаций для обеспечения гарантированного уведомления персонала об изменениях в процессе.

Техническое обеспечение ИКСУ Matrix представляет собой совокупность вычислительной техники, включающей в себя автоматизированные рабочие места работников цеха на базе персональных компьютеров, серверы баз данных и другое оборудование, объединенное в вычислительную сеть.

Комплекс технических средств Matrix всех уровней обеспечивает информационный обмен по каналам связи, хранение и обработку данных, в соответствии с требованиями бесперебойной эффективной работы цеха.

Будучи разработанной и развернутой в соответствии с требованиями имеющейся рабочей среды и стратегическими бизнес задачами, ИКСУ позволяет создать «Единое автоматизированное производство» и обеспечить выгоду во множестве аспектов: в плане безопасности, эффективности, экономии и прибыли, а также привлечения и удержания персонала. Такая система помогает справиться с текущими и будущими задачами, стоящими перед любым предприятием.

## РАЗДЕЛ 5. КИБЕРФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ (CPS), M2M, IIOT, BIG DATA

Национальный институт стандартов и технологий США (NIST), определяет киберфизические системы (Cyber-Physical Systems, CPS) как совокупность цифровых, аналоговых, физических и человеческих компонентов, функционирующих посредством интегрированной физической технологии и логики [26-28].

Термин CPS предложен для обозначения автоматизированных комплексов, состоящих из различных природных объектов, искусственных систем и управляющих контроллеров, объединяемых в единое целое средствами интернет (интранет).

Технические предпосылки возникновения CPS [26]:

1. Рост числа устройств со встроенными процессорами и средствами хранения данных: сенсорные сети, медицинское оборудование; умные дома и т.д.
2. Интеграция, позволяющая достигнуть наибольшего эффекта путем объединения отдельных компонентов в большие системы: Интернет вещей (IoT), World Wide Sensor Net, умные среды обитания (Smart Building Environment), оборонные системы будущего.
3. Ограничение когнитивных способностей человека, эволюционирующих медленнее, чем машины. Люди не могут справиться с объемом информации, требуемым для принятия решений, и передают часть функций CPS, выводя себя из контура управления (human out of loop).

Киберфизические системы могут усилить аналитические способности человека. Существует потребность в создании интерактивных систем нового уровня, сохраняющих человека в контуре управления (human in the loop).

Киберфизическая система – организационно-техническая концепция управления информационными потоками, интеграция вычислительных ресурсов в физические процессы производства. В такой системе датчики, контроллеры и информационные системы объединены в единую сеть. По сути, CPS является промышленным интернетом вещей (IIOT) с распределенной автоматизированной системой управления на основе TCP/IP-сети интеллектуальных агентов. Основой CPS является заложенная в систему управления компьютерную модель (цифрового или («теневого») двойника физического актива), обеспечивающая эффективную работоспособность актива в целом.

Киберфизические системы (CPS) или (КФС) – умные системы, которые включают интерактивные инженерные сети из физических и коммуникационных компонент. CPS и связанные с ним системы являются общепризнанными инструментами, имеющими большой потенциал внедрения, создающий пути реализации инновационных приложений, которые оказывают огромное влияние на множество секторов мировой экономики [29]. В числе этих секторов NIST указывает в первую очередь на промышленность, транспорт, энергетику и здравоохранение.

Понятие КФС является всеобъемлющим. При определенных условиях значительная часть явлений современного мира может быть названа КФС.

Поэтому к категории КФС можно отнести огромное количество устройств и концепций. К ним относятся, как минимум такие составляющие современной техники:

- роботы, в том числе «умные» роботы;

- интернет вещей (включая промышленный (индустриальный) Интернет);
- высокоавтоматизированные автомобили и высокоавтоматизированный транспорт;
- беспилотные летательные аппараты;
- «умный город»;
- «умные» медицинские устройства.

Под цифровизацией современной техники понимают поэтапное расширенное внедрение в технические системы/объекты и в различные технологии (информационные) компонентов, обладающих интеллектуальными свойствами. На сегодняшний день данная тенденция наблюдается повсеместно: детские игрушки, бытовые приборы, оснащённые микрочипами, сложнейшие технологические комплексы нефтехимических и химических производств.

Особенность развития современной техники состоит в том, что она приобретает самоуправляемость за счёт использования интеллектуальных программно-аппаратных структур. Таким образом, реализуется переход управленческих функций от человека к самой технике. Это ведёт к глобальным переменам – обретению искусственного интеллекта техносферой, становящейся локомотивом земной эволюции.

Основополагающим фактором, стимулирующим появление умной техники, является психофизическая ограниченность человека.

Считается «...что в сегодняшнем мире в процессе трансформации современной техники в психологии человека произошло изменение традиционного понятия счастья. Под счастьем современного человека во всеобъемлющем представлении стала пониматься конформность его жизни, которая обеспечивается цифровизацией его бытия. В сферу человеческой жизнедеятельности, как в огромную всепоглощающую воронку, втягиваются не только определённые объекты обеспечения комфортности индивидуума (перечень которых экспоненциально растёт), но и различного рода услуги, а также энергия и информация. В результате наблюдается взрывообразный процесс усложнения техники, окружающей человека».

Кроме того, развитие сложной техники порождает трудности ее эксплуатации, технического обслуживания. Вследствие чего из-за неправильного обслуживания или неверных проектных решений происходят аварии и техногенные катастрофы, влекущие за собой не только разрушения и загрязнение окружающей среды, но и людские жертвы.

Тем не менее умные сущности современная техника обеспечивает эволюционный прорыв человечества в будущее. Дальнейшая реализация этой тенденции неизбежно ведёт к всеобъемлющей цифровизации среды, потенциал которой будет сравним с возможностями человеческого разума, а со временем вероятно значительно их превысит.

В киберфизических системах производство и производственные процессы происходят в физическом пространстве, а их виртуальная реальность протекает в компьютерных системах, в информационном пространстве. В компьютерном мире КФС осуществляется преобразование производственных проблем, происходящих в физическом пространстве в их цифровые двойники. Взаимодействие виртуальных сущностей для достижения заданных целей позволяет через зеркальное отображение физических сущностей управлять физическим миром посредством обратного преобразования информации в физические действия.



Пиление, сверление, сварка, перемещение объектов и т.д. происходят в физическом пространстве, а процессы управления этими действиями в информационном.

Сложность такого рода задач приводит к пониманию того, что речь не идет о создании автоматизированных систем, более крупных, чем существующие, где компьютеры интегрированы или встроены в те или иные физические устройства или системы. Сегодня ставится и решается задача гармоничного сосуществования двух типов сущностей. С одной стороны – физические сущности, традиционные инженерные активы (механические, строительные, электрические, биологические, химические, экономические и другие), а с другой – их виртуальные, компьютерные образы.

Предшественниками CPS являются беспроводные сенсорные сети, АСУ ТП, системы реального времени, распределенные вычислительные системы.

Концепцию построения КФС можно считать развитием с одной стороны технической кибернетики, которая ориентирована на применение кибернетических моделей исследования проблем управляемости, устойчивости, безопасности и т.д. С другой стороны концепция киберфизики существенно расширяет понятия физики не только связанных с ее новыми современными разделами, но и понятия искусственно созданных систем, использующих принципы живой природы.

Концепция киберфизических систем основана на интеграции вычислительных ресурсов и физических процессов с целью достижения эмерджентности, появления принципиально новых возможностей у создаваемых CPS. Целью такой интеграции становится достижение синергетического эффекта за счет новых системных связей, получения особых свойств, не присущих её элементам.

*По применимости* устройств CPS могут быть классифицированы по отраслевому принципу: в НГО, в нефтехимии, в промышленности, в энергетике, и т.д.

*По формату устройств* CPS могут включать в себя глобальные «системы систем», их отдельные составляющие, датчики и средства измерений, объекты любого размера и масштаба (от нано роботов до умных фабрик).

CPS включает в себя как *аппаратную*, так и *виртуальную (вычислительную) части*. Каждый из этих компонентов, в свою очередь, может взаимодействовать с большинством современных технологических трендов, аддитивным производством, блокчейн-технологией, виртуальной и дополненной реальностями (VR и AR), облачными вычислениями и т.д.

Сам термин CPS может использоваться как для описания *конкретного устройства*, так и для описания *системы или концепции* (подразумевая интеграцию вычислительного компонента в физический процесс).

С технической точки зрения CPS имеют много общего со структурами типа GRID (ГОСТ Р 55768), целевыми задачами которых являются интеграция, виртуализация и управление ресурсами и услугами в распределенных, гетерогенных, динамических «виртуальных организациях». Решение этих задач в CPS выполняется посредством промышленного интернета вещей (IIoT), межмашинного взаимодействия (Machine-to-Machine, M2M), и бланочных технологий (Fog и Cloud Computing). Ожидается, что на новой ступени развития облачных вычислений, будут снижаться задержки, возникающие при передаче данных, и будут обеспечены новые возможности развития интеллектуальных устройств [26].

В тоже время CPS - это инструмент для преодоления таких проблем автоматизированных систем управления, как распределённость, надежность,

отказоустойчивость, безопасность, масштабируемость и автономность работы в труднодоступных местах.

Концепция построения CPS включает в себя также использование мониторинговых средств для непрерывного изучения производственных объектов. Получаемые в результате изучения знания будут использоваться для достижения настройки активов и технологических процессов и обеспечения оптимизации их жизненных циклов.

В результате производственные активы становятся интеллектуальными и автономными. Для выполнения производственных задач в заданные сроки, с заданными объемами и удовлетворения, в частности, требований, при низких затратах и с сокращенным временем производства требуется информационная синхронизация взаимодействия активов в реальном времени во всех возможных режимах их работы. Именно поэтому для решения этих задач должна быть построена многоуровневая киберфизическая система (рис.5.1).

На полевом уровне CPS эффективными являются сенсорные сети (Sensor NetWorks). Сенсорные сети, развернутые на основе многих недорогих датчиков, позволяют получать необходимые объемы информации для последующей аналитики.

Сущность киберфизических систем показана на рисунке 5.1.

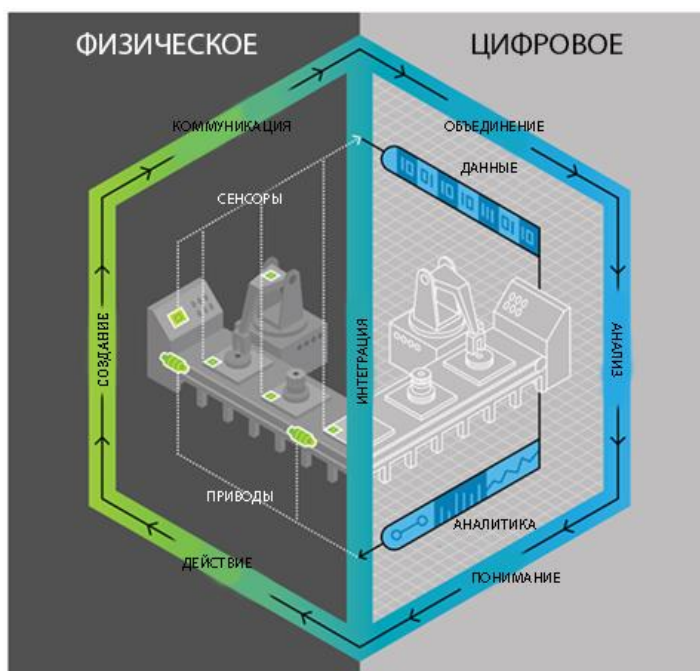


Рис. 5.1. Сущность киберфизических систем

Отличительными особенностями CPS являются [30,31]:

1. Ориентация на сервисы. Сервисы CPS реализуются на основе сервисно-ориентированной эталонной архитектуры.
2. Интеллектуальная самоорганизация. CPS обеспечивает способность принимать решения самостоятельно.
3. Способность людей и CPS объединяться для решения общих проблем и общаться друг с другом.

4. Виртуализация мира производства на разных уровнях детализации, от датчиков и исполнительных механизмов для всего CPS.
5. Формирование базы знаний на основе технологической и технической информации.
6. Обеспечение междисциплинарной модульности, гибкой адаптации к изменяющимся требованиям путем замены или расширения отдельных модулей.
7. Возможности в реальном времени. Алгоритмы и технологии больших данных, предоставляемые в режиме реального времени.
8. Оптимизация производственного процесса с использованием алгоритмов и больших данных для повышения общей эффективности оборудования (Overall Equipment Effectiveness, OEE).
9. Интеграция данных по дисциплинам и по жизненному циклу.
10. Доступ к данным, надежно хранящимся в облаке или интрасети.

На рисунке 5.2 показана архитектура киберфизической системы, названная 5C (connection, conversion, cyber, cognition, configuration) (коммуникационная среда, конверсия данных в информацию, киберуровень цифровых двойников, самопознание своей сущности, самоконфигурация).

На уровне «Коммуникационная среда» устройства могут выполнять самоподключение и самоконтроль своего поведения. Этот уровень представляет собой самый нижний слой CPS и реализует первый шаг к достижению интеллектуализации актива с использованием таких элементов, как умные датчики, умные исполнительные механизмы и умные протоколы коммуникационной среды потока данных. Умные КИПиА реализуют самонастройку и самоконтроль полевого уровня. Восходящие и нисходящие каналы связи этого уровня становятся особо значимыми при интеграции полевого и производственного уровней при решении таких ключевых бизнес процессов, как системы планирования ресурсов предприятия (ERP), управления отношениями с клиентами (CRM) и управления цепочками поставок (SCM).



Рис. 5.2. 5C архитектура киберфизических систем

«Конверсия» – слой CPS, на котором многие типы возмущений и несоответствий исключаются из информации, полученной из полевого уровня, благодаря использованию таких инструментов как глубокая аналитика данных и облачные вычисления. Эти аналитические инструменты помогают подготовке решения таких проблем, как вычисление оставшегося срока службы актива и выявление причин незапланированных остановок технологического оборудования. На этом уровне на основе измерений устройств и датчиков выполняется оценка критических проблем с самосознанием. Данные от устройств с автономным и проводным подключением и умными КИПиА становятся основой для получения информации от активов. Их данные становятся основой для самоопределения критических проблем физических активов.

На уровне «Киберуровень цифровых двойников» каждая физическая сущность технологического пространства создает свой «двойник», используя те инструментальные функции, которые в последующем контролируют состояние активов, основанных на методологии «Time-Machine» (стандартной функции непрерывного автоматического копирования физической сущности на виртуальном уровне). Виртуальный «двойник» актива в технологическом киберпространстве выполняет самоанализ и осуществляет вычислительную подготовку управления физической сущностью.

Уровень «Самопознание своей сущности» представляет результаты самооценки на основании «инфографического» (infographic) значения, с целью указания пользователям контекста потенциальных проблем.

Уровень исполнительных действий выполняет преобразование интеллектуальных решений в действие на уровне активов. На основании критериев приоритета, риска для достижения требуемого уровня производительности или отказоустойчивости система может быть переконфигурирована. На этом этапе используются алгоритмы, программное обеспечение и компьютерная инфраструктура для анализа состояния активов и прогнозирования их поведения. Это комплекс программно-алгоритмического обеспечения построения вычислительной архитектуры, алгоритмов и обеспечения информационной безопасности.

Уровень «Самоконфигурация» преобразование потенциала интеллекта в действие, выполняющее движение от киберпространства к физическому пространству. Этот этап позволяет киберфизической системе переводить решения в реальные действия.

Методология кибернетической физики основана на хорошо разработанных методах теории управления: методах линейного и нелинейного программирования, оптимального, робастного, адаптивного управления; методах идентификации параметров, методах фильтрации и оценивания состояний, методах оптимизации систем.

При создании CPS используются разнообразные языковые средства. Разные ОС и средства интеллектуальной обработки информации задействуют все возможности современных РАС – процессорных архитектур контроллерного обеспечения.

Для сетевого взаимодействия используются различные методологии: умные агенты МАС, машинно-машинное взаимодействие М2М, интернет вещей IOT.

Межмашинное взаимодействие (Machine-to-Machine) – общее название технологий, которые позволяют машинам обмениваться информацией друг с другом, или же передавать её в одностороннем порядке. Это могут быть проводные и

беспроводные системы мониторинга датчиков или каких-либо параметров устройств (температура, уровень запасов, геолокация). Новое поколение беспроводных систем связи, обеспечивающих подключение автономных сенсоров и использование доступа к компьютерным хранилищам информации, пространство «интернет вещей» и сервисов «облачных вычислений» существенно усиливают возможности «интеллектуализации» процессов управления.

В потребительском сегменте, в масс-маркете, M2M – электроника, медицинское оборудование, крупная и мелкая бытовая техника. В интернете приводятся различные кейсы с домашними вещами, которые умеют оповещать производителя, о своем состоянии и намерениях. Многие производители электроники и бытовой техники работают в направлении M2M «умной» техники. Само понятие «умный» не указывает сразу на M2M. Есть устройства (и это большинство браслетов, например), подключаются к смартфону через Bluetooth и управляются через приложение. Данный пример не M2M. M2M – у устройства есть собственный чип или подключение к интернету другим способом для передачи данных, и передача эта происходит автоматически, без участия пользователя.

На рисунке 5.3 представлена схема взаимодействия киберфизических систем и персонала на производственном предприятии. Посредством вычислительной техники (ПК, планшет или телефон), подключенных к беспроводной сети промышленного Интернета вещей (IoT – Internet of Things) производится управление персоналом и оборудованием.

Основным достоинством интерфейса «интернета вещей» является поддержка различных спецификаций беспроводных сетей. Предпосылками «безлюдного производства» является дистанционное управление и поддержание на аппаратно-программном уровне пользовательского оборудования (ПК, планшет, телефон).

Примером практической реализации дистанционного способа управления компонентом киберфизической системы может быть интернет- управление 3D-принтерами, установленными на производстве [32,33]. Такое управление позволяет диспетчеру в виртуальном пространстве управлять аддитивной технологией производства изделия.

Производственная информация, передаваемая от киберфизической системы персоналу «умного производства», включает в себя:

- показатели выполнения технологического процесса, регистрируемые системой встроенных датчиков;
- состояние технологического оборудования, выполняющего производственную операцию (исправность/неисправность; наличие/остаток сырья (компонентов), необходимых для выполнения технологической операции, потребность замены инструмента, выполнение регламентных работ по техническому обслуживанию оборудования и т.д.), которое также регистрируется специальной системой встроенных датчиков (КИПиА).

На схеме (рис.5.3) предварительную обработку данных от датчиков состояния технологического оборудования и датчиков контроля показателей технологического процесса обеспечивает встроенный ПЛК управления, осуществляющий информационный обмен с программируемым контроллером автоматизации (РАС) контроллером IoT.

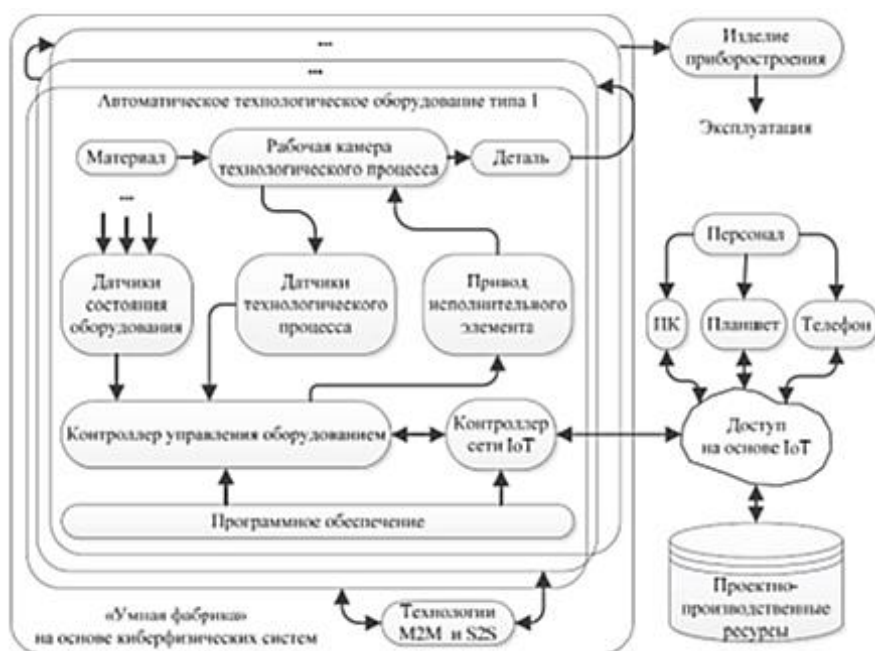


Рис. 5.3. Схема взаимодействия персонала и киберфизической системы

Для выполнения работы технологическим оборудованием по заданной программе ПЛК формирует необходимые команды управления приводами исполнительных устройств, выполняющих необходимую производственную операцию преобразования исходного материала в деталь. В результате формируется автоматическое управление производством детали в соответствии с командами контроллера IoT.

Информационные процессы, циркулирующие в автоматическом контуре управления, представляют интерес для обслуживающего персонала только в случае возникновения нештатных ситуаций в работе оборудования. В этом случае становится важным выяснить причину возникновения сбоя (поломка, нарушение технологического процесса и пр.) в работе производственной линии.

С другой стороны данные от КИПиА, контроля состояния технологического оборудования для работников производства являются в любой момент важными, так как от исправности оборудования, поддержания запаса инструмента и сырья производственного автомата на заданном уровне зависит успех выполнения всей программы производства.

Поэтому в случае возникновения нештатных ситуаций в работе автоматического оборудования, выявляемых в процессе мониторинга, контроллер IoT обеспечивает стандартизованными и утвержденными соответствующими инструкциями экспертной поддержки, доступные по интерфейсам IoT.

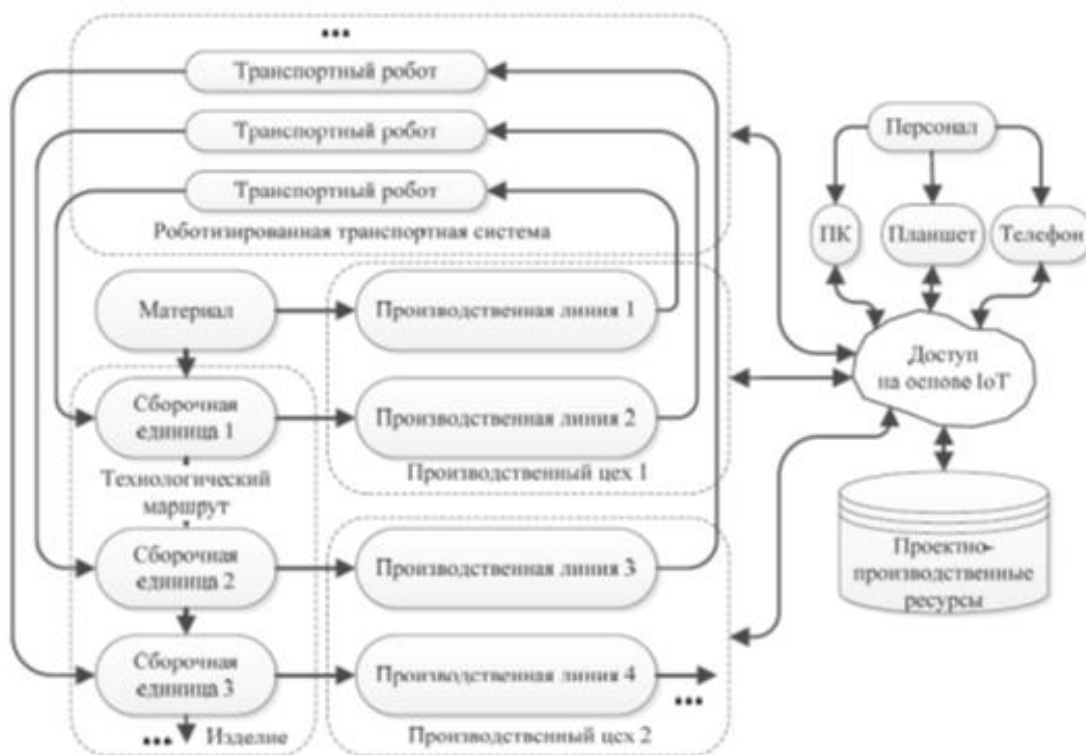


Рис. 5.4. Структурная схема «Умной фабрики»

Взаимодействие отдельных компонентов киберфизических систем в составе единой производственной линии осуществляется на основе известных схем (технологий) M2M и S2S (Systems-to-Systems) соответственно. Пример схемы «умная фабрика» показан на рисунке 5.4.

Пусть каждая производственная линия состоит из набора автоматов, выполняющего операции со сборочными единицами. В зависимости от назначения производственных автоматов это могут быть:

- технологические операции по установке компонентов элементной базы;
- операции сборки модуля из набора деталей с установленными компонентами.

Если технологический маршрут изготовления изделия предполагает выполнение с деталями (сборочными единицами) технологических операций на оборудовании различных производственных линий, то перемещение деталей в пределах цеха должно обеспечиваться специализированной роботизированной транспортной системой.

Роботизированная транспортная система включает набор транспортных роботов, поддерживающих обмен производственными данными по беспроводной сети IoT и предназначенных для доставки деталей (сборочных единиц, готового изделия) со склада готовой продукции или на склад временного хранения, в приемные контейнеры производственных автоматов, выполняющих технологические операции.

Таким образом, транспортные роботы могут быть внутрицеховыми (перемещающими детали в пределах производственных линий и системы шкафов внутрицехового хранения изделий) и межцеховыми, предназначенными для

перемещения изделий в соответствии с технологическим маршрутом в пределах всего производственного комплекса предприятия.

Мониторинг деятельности производственных автоматов на «Умных предприятиях» обеспечивается обслуживающим персоналом, осуществляющим контроль за состоянием оборудования и технологических процессов изготовления, посредством коммуникационных устройств (ПК, планшет, телефон), подключенных к беспроводной сети по протоколам IoT.

Анализ производства показанного на рисунке 5.4 показывает, что базовое производственное оборудование, размещенное на «Умном предприятии» должно быть во много универсальным, т.е. позволять за достаточно короткий срок переориентировать (перепрограммировать) производственные мощности предприятия для начала выпуска нового вида изделий без существенных изменений существующей структуры организации.

Свойство аппаратной инвариантности производственных комплексов, оснащенных киберфизическими системами, определяет принцип и возможности самоорганизации производственных цехов как в части смены номенклатуры изготавливаемых изделий, так и в части парирования отказов и неисправностей, возникающих в оборудовании производственных линий. Такие алгоритмы самоорганизации производственного оборудования условно могут быть сгруппированы в библиотеки «проектно-производственные ресурсы», подключенной, например, из облака к интерфейсу IoT производственного комплекса.

Принцип работы киберфизических систем на производственных предприятиях может быть описан на примере функциональной схемы, показанной на рисунке 5.5. Исходными данными для начала работы производственного автомата (например, 3D-принтера, функционирующего по аддитивным технологиям) являются сырье (материал), из которого необходимо изготовить деталь, и управляющая программа, соответствующая цифровой модели изделия (конструкторской (КД) и программной (ПД) документации).

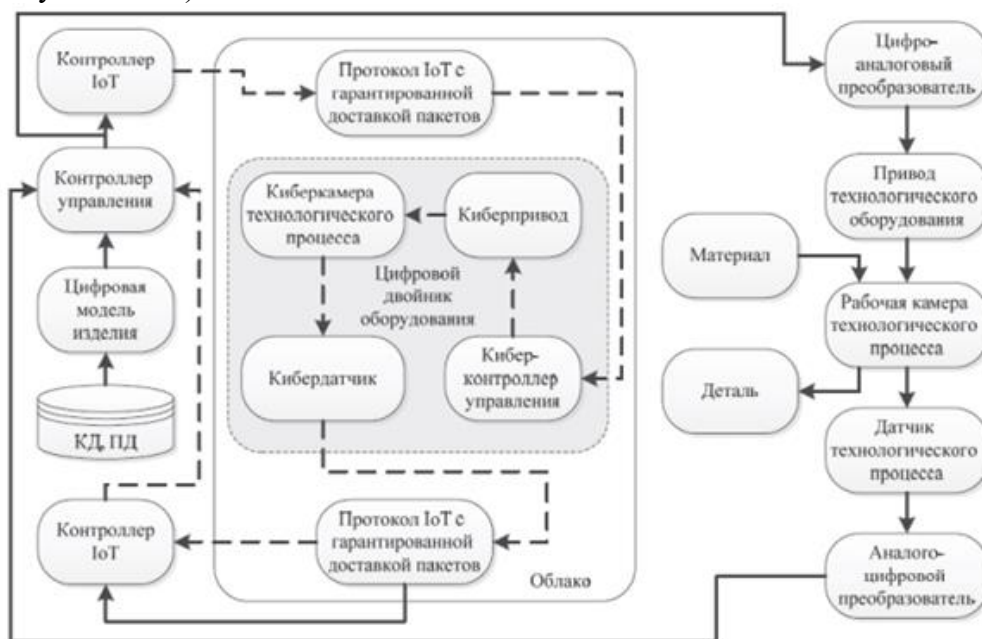


Рис. 5.5. Функциональная схема КФС



На основе алгоритма управления изготовлением детали ПЛК осуществляет выдачу управляющих сигналов на привод (двигатель, к которому через систему редукторов, подсоединены инструменты) для выполнения технологической операции. Команды управления, задания поступают с киберконтроллера РАС IoT управления цифрового двойника технологического оборудования. Для выполнения КФС производственных задач необходим комплекс цифровых двойников/моделей (рис.5.6):

- цифровых двойников технологического оборудования;
- цифровых моделей операций технологического процесса изготовления изделий;
- цифровых моделей изготавливаемого изделия и его составных частей (входят в состав конструкторской, программной и технологической документации);
- цифровых моделей внешних воздействующих факторов, необходимых для проведения виртуальных испытаний цифровой модели изделия с использованием технологий имитационного моделирования.

Цифровой двойник технологического оборудования – это специальный компонент киберфизической системы, представляющий собой математическую модель производственного актива, которая адекватно реальному устройству и описывает принцип и характеристики его работы и может размещаться в облаке сервисов CPS. Наличие цифрового двойника оборудования на уровне физических устройств позволяет осуществлять дополнительный контроль качества выполнения производственных операций, а на киберуровне позволяет проводить имитационное моделирование процессов изготовления изделия на этапах, когда цифровой завод еще только проектируется или разрабатываются технологические маршруты изготовления изделия нового типа, планируемого к постановке на производство на предприятии.

Привод технологического оборудования выполняет заданную производственную операцию (например, установку компонентов поверхностного монтажа на печатные платы) в рабочей камере технологического процесса. Контроль выполнения технологических операций осуществляется в автоматическом режиме при помощи КИПиА на основе контроля состояния выполнения производственных процессов.

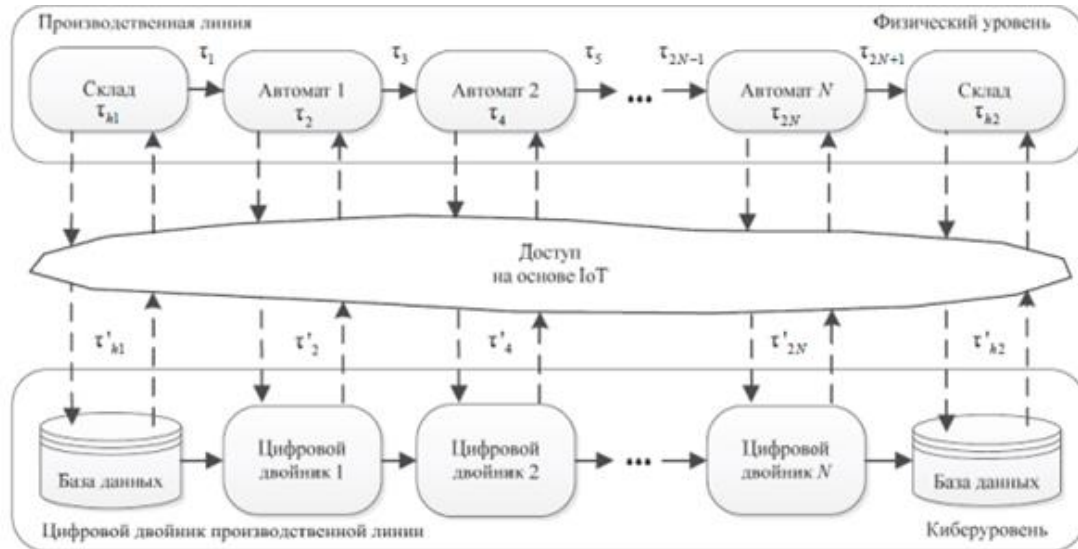


Рис. 5.6. Схема производственной линии, выполненной на основе КФС

Параллельно с выполнением реального технологического процесса на логическом уровне КФС осуществляется вычисление параметров математической модели техпроцесса для цифрового двойника технологического оборудования, который включает подсистему киберпривода, подсистему кибердатчика и киберкамеру, в которой имитируется выполнение реальной технологической операции в режиме *model@run time*. Процессы вычисления параметров математической модели технологических процессов реализуются на киберуровне. Результаты вычислений через контроллер IoT также передаются в ПЛК технологического оборудования. Таким образом, алгоритму работы производственного автомата, реализованному в виде программного обеспечения киберфизической системы, доступны:

- значения, выданные на привод технологического оборудования для выполнения технологической операции;
- измеренные значения, соответствующие состоянию выполнения технологической операции в рабочей установке;
- оцененные (ожидаемые) значения результата выполнения технологической операции, полученные в процессе расчета математической модели, адекватно реальному технологическому процессу описывающей производственную операцию.

Взаимодействие всех этих моделей может осуществляться на базе универсальной сетевых платформ управления [33], позволяющей использовать стандартные средства организации информационного обмена для объединения различных технологий управления, относящихся как к физическим, так и к виртуальным компонентам киберфизической системы. Сетевые структуры, используемые не только для реализации информационных сервисов, но и для управления киберфизическими объектами, могут быть развернуты как в информационном пространстве производства, так и в облаке.

Многоуровневая облачная платформа информационного взаимодействия показана на рисунке 5.7. Платформа облака может быть построена различными средствами, в частности, «на инструментах и технологиях OpenStack». Показанные

на рисунке уровни 1–3 – инфраструктурные и могут быть размещены в любой облачной среде, например Amazon Web Services. Программные компоненты платформы уровней 3-5 размещаются в частном облаке в производстве или центре обработки данных. Уровень 7 отвечает за передачу данных, а на восьмом уровне размещаются операторы и агенты обработки данных. В киберфизических системах на этом уровне могут быть размещена платформа обработки данных Big Data.

Платформы Big Data могут быть построены на основе средств с открытым программным кодом, например, Orange или более мощных систем R studio [25].

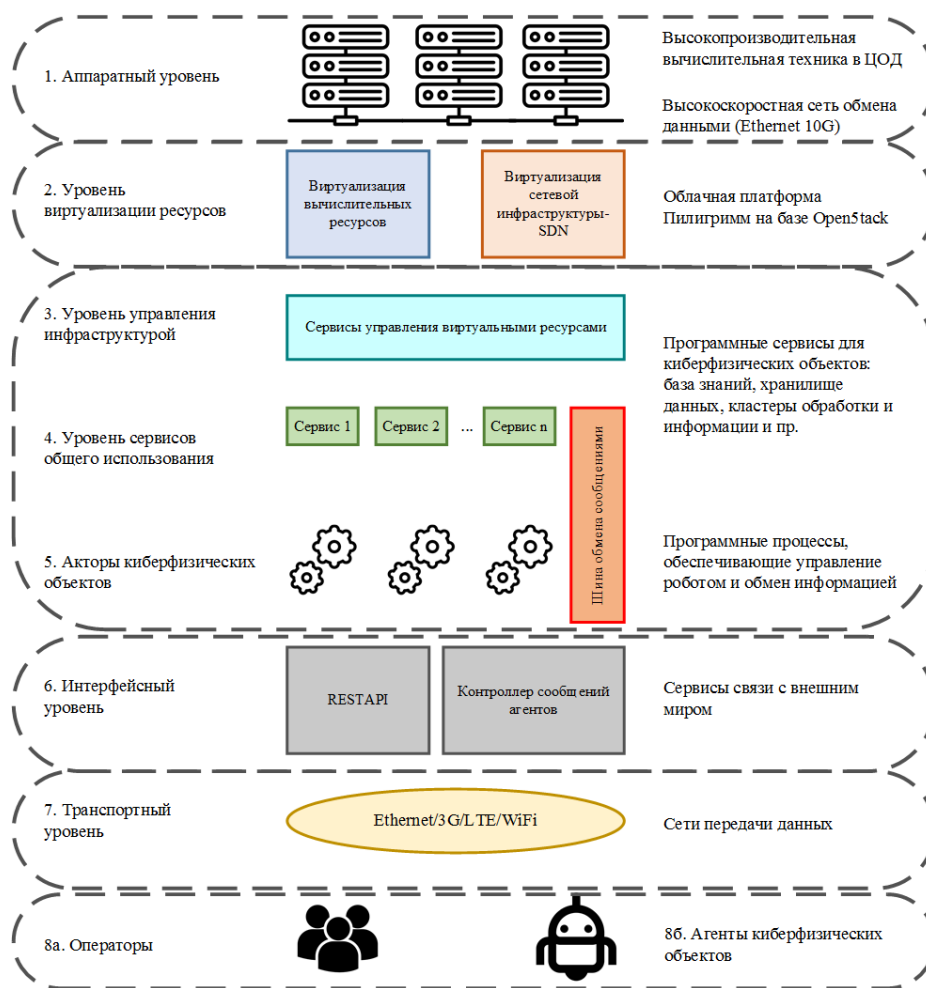


Рис. 5.7. Облачная платформа управления киберфизическими объектами

Национальный научный фонд США (NSF) определил киберфизические системы как ключевую область исследований. Развитие науки и техники улучшит связь между вычислительными и физическими элементами киберфизических систем с помощью интеллектуальных механизмов. Применение интеллектуальных методов в управлении значительно увеличит адаптивность, автономность, эффективность, функциональность, надежность, безопасность киберфизических систем. Концепции CPS как систем управления и основы управления приняли эксперты Европы, Японии, Индии, Китая. По предварительным оценкам переход на концепцию CPS приведет к удвоению ВВП. В тоже время применение киберфизических систем сопряжено с

дополнительными алгоритмическими трудностями, обусловленными сетевыми проблемами.

## РАЗДЕЛ 6. АГЕНТЫ. ВИРТУАЛЬНЫЕ АГЕНТЫ. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ АГЕНТЫ (МУЛЬТИАГЕНТНЫЕ СИСТЕМЫ). ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ. ROBOT ETHICS CHARTER

Разработка технологии искусственных агентов, создание многоагентных систем (МАС) в виртуальных средах представляет наиболее важную и многообещающую область развития новых информационных и коммуникационных технологий (НИКТ), где сегодня формируются киберфизические системы, происходит интеграция современных сетевых WWW-технологий, методов и средств искусственного интеллекта (ИИ), включая большие базы данных/ знаний, многокомпонентные решатели [32-35].

Агентом является всё, что может рассматриваться как умная сущность, воспринимающая окружающую среду с помощью сенсоров и воздействующая на нее с помощью исполнительных механизмов. Простейшим видом агента является простой рефлексный агент. Подобные агенты выбирают действия на основе текущего восприятия среды, игнорируя историю предыдущих актов восприятия. Например, агент-пылесос, представляет собой простой рефлексный агент, поскольку его решения основаны только на информации о текущем местонахождении и о том, содержит ли оно мусор [36].

Такой вид агентов использует связь типа условие-действие. То есть, если выполняется какое-то условие, то в ответ на него агент использует предписанные этому условию действие. Такую связь очень часто используют люди, так, например, водители автомобилей: если водитель видит, что впереди машина тормозит, то он тоже начинает тормозить. Это самый простой тип связи «условие-действие» (рис.6.1) [37-38].

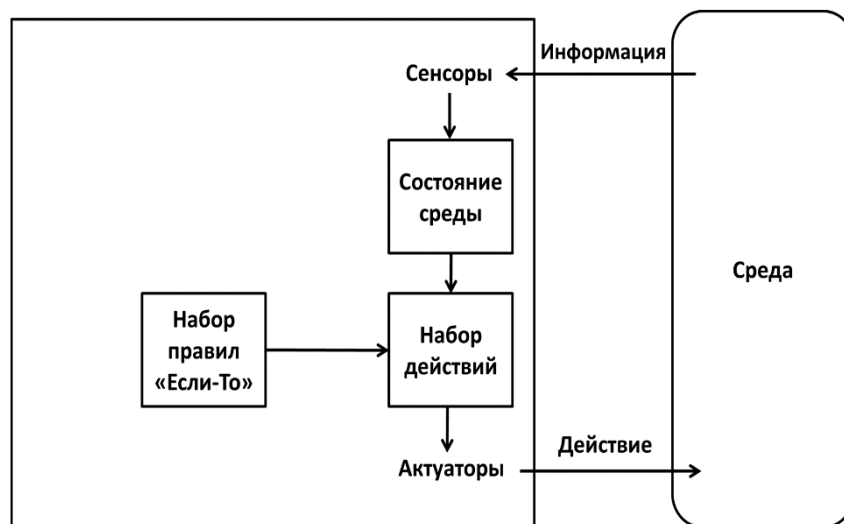


Рис. 6.1. Функциональная схема простого интеллектуального агента

Суть агентно-ориентированного подхода очень простая. Вместо того, чтобы пытаться формализовать такие сложные понятия, как «разум» и «интеллект», надо сделать что-то более простое и полезное. Этим простым и полезным оказалось понятие «рациональность» или «рациональное поведение».

Агентно-ориентированный подход нашел широкое применение в областях распределенного решения сложных задач, совмещенного проектирования изделий,

реинжиниринга бизнеса и построения виртуальных предприятий, имитационного моделирования интегрированных производственных систем и электронной торговли, организации работы коллективов роботов и распределенной (совмещенной) разработки компьютерных программ [40].

Существует несколько международных подходов к созданию мультиагентных систем:

- OMG MASIF, созданный Object Management Group, в основе которого лежит понятие мобильный агент;
- спецификации FIPA (Foundations for Intelligent Physical Agents), основанные на предположении об интеллектуальности агента;
- DARPA стандарты, разработанные исследовательским подразделением Пентагона – Агентством Передовых Оборонных Научных Исследований (Defense Advanced Research Projects Agency).

Простые рефлексные агенты характеризуются той замечательной особенностью, что они чрезвычайно просты. Робот-пылесос работает, только если правильное решение может быть принято на основе исключительно текущего восприятия, иначе говоря, только если среда является полностью наблюдаемой.

Внесение даже небольшой доли не наблюдаемости может вызвать серьезное нарушение его работы. Простые рефлексные агенты являются чрезвычайно примитивными, они ограничены в функционале. Для простых рефлексных агентов, которые действуют в не полностью наблюдаемой среде, характерны попадания в бесконечные циклы.

В обыденной жизни для принятия решения не всегда достаточно информации из окружающей среды. Пусть человек подходит к перекрестку, у него есть на выбор три направления движения. Что выбрать? И в этом случае он обращается к своей цели. В аналогичной ситуации агенту также может потребоваться не только информация о мире, внутреннем состоянии, но и информация о цели. Тогда программа агента будет комбинировать все виды информации для выбора действий, которые позволят достичь цели.

Задача выбора действий на основе цели решается довольно просто, когда достижение цели становится результатом единственного действия, но когда достижение цели усложняется, то агенту потребуется рассмотреть последовательности действий, чтобы найти нужный способ достижения цели.

Принятие решений на основе цели полностью отличается от правила «условие-действие». Главным отличием от стандартного правила «условие-действие» является то, что агент на основе цели должен отвечать на вопросы: «Это действие позволит добиться цели?» или «Что будет, если я сделаю так?».

Пример поведения такой модели агента приведен на рисунке 6.2.

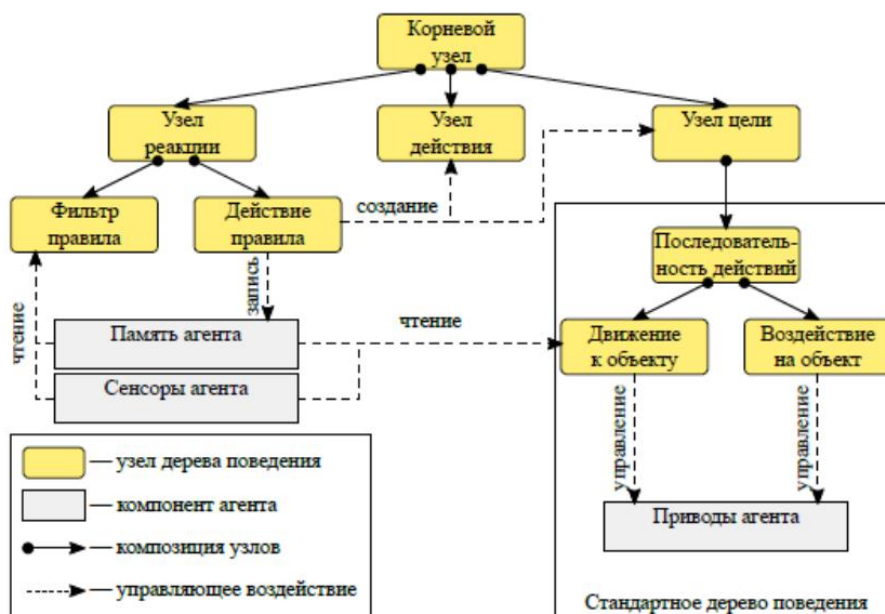


Рис. 6.2. Модель поведения агента на основе достижения цели

Агент, использующий ситуационный анализ и планирование действий для достижения цели, становится более гибким в своих действиях, поскольку он использует знания. Знания позволяют реализовывать алгоритмы выполнения действий, которые могут меняться, если изменяется окружающая среда. Агент перестраивает приоритеты, изменяет правила «условие-действие» и таким образом может выбирать наилучшее действие и этим значительно отличается от агентов рефлексивного типа.

Однако эти виды агентов имеют один общий недостаток – отсутствие возможности обучаться. Обучение является первичным качеством для интеллектуального агента. Благодаря обучению, агент может функционировать в первоначально неизвестных ему вариантах среды и становится более полезным и значимым, чем он был спроектирован изначально. Таким образом, агент приобретает особенности ИИ. На рисунке 6.3 показана структура такого обучающегося агента.

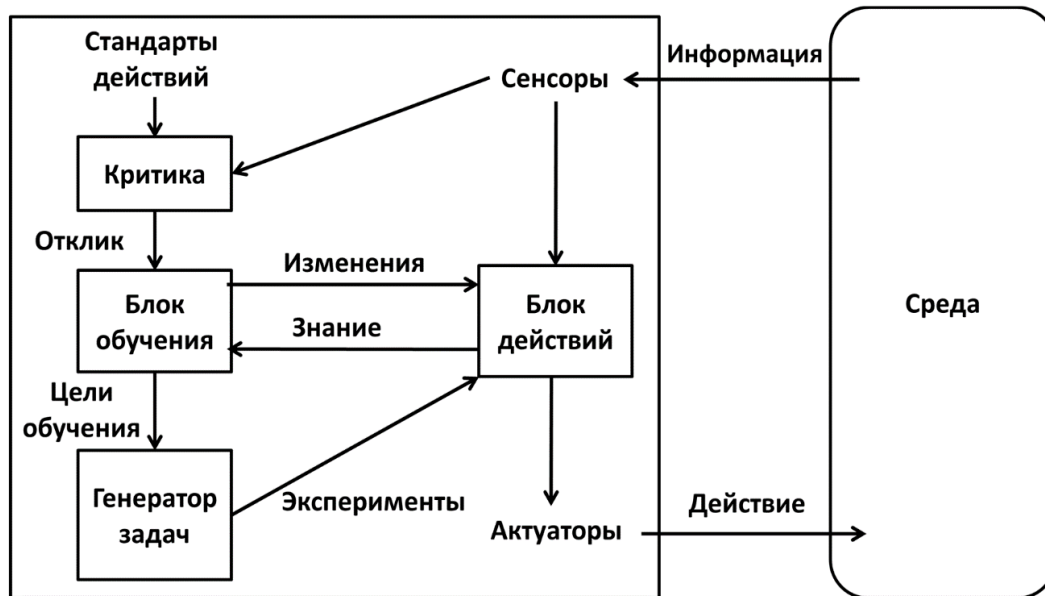


Рис. 6.3. Блок схема обучающегося агента

Обучающийся агент имеет четыре концептуальных компонента: блок действий, обучающий компонент, блок критики (оценки ситуации) и генератор потока задач [39].

*Сенсоры* непрерывно измеряют особенности окружающей среды. *Блок действий* воздействует на среду с помощью исполнительных механизмов.

*Критик-блок*, выполняет функции оценщика действий агента, с учетом установленных разработчиком стандартов действий. Этот блок необходим в данной структуре, поскольку агенту необходимо оценивать успешность его действий.

*Блок обучения* отвечает за внесение усовершенствований, и выбор своих действий. Обучающийся компонент использует информацию от критик-блока с оценкой успешности (эффективности) действий агента и содержит в себе производительную часть для задания необходимых действий.

*Генератор задач* служит для выбора действий, которые должны привести к получению совершенно нового информационного опыта. Поскольку производительный компонент выбирает только наиболее эффективные действия, то это может свести всю интеллектуальность агента к одним и тем же действиям, полагая, что они являются наилучшими. Поэтому генератор проблем позволяет выполнять эксперименты по выбору других действий, которые могут быть неоптимальными в начале, но возможно будут наилучшими в конечном результате.

Модуль принятия решений является наиболее важным компонентом агента. Для его реализации применяют модель дерева поведения. Дерево поведение отвечает за мгновенные реакции агента на происходящие события, последовательное выполнение спланированных действий и контролирует достижение целей.

Одним из наиболее эффективных способов организации работы в условиях частичной наблюдаемости среды, является отслеживаемость агентом части мира, которая воспринимается им в данный момент времени.

На аппаратном уровне интеллектуальный агент состоит из: сенсоров, электрических приводов исполнительных устройств, памяти и модели поведения (программы агента). Сенсоры и электрические приводы являются интерфейсом для взаимодействия между агентом и окружающей средой. В памяти сохраняются



результаты восприятия окружающей среды сенсорами. Программа агента реализует его модель поведения и является наиболее сложным компонентом. Внутренне представление программы агента в первую очередь зависит от его задачи.

Агенты могут формировать сообщества (сети). Такие мультиагентные объединения оказываются особенно полезными при построении виртуального слоя киберфизических систем. Особенность такого подхода к построению КФС заключается в том, что на нижнем уровне ее пирамиды строятся агентно-ориентированные модели поведения отдельных сущностей в конкретном технологическом процессе. Причем каждый из агентов следует своим собственным правилам, живет в технологической среде производства и взаимодействует со средой и с другими агентами с учетом индивидуальной логики поведения агентов.

Предполагается, что реализуется способность взаимодействия между агентами, когда один агент может выработать запрос к другому агенту на передачу некоторых данных или выполнение определенных действий. При этом задача может быть разбита на несколько подзадач, которые распределяются между другими агентами.

Мультиагентные системы выполняющие действия в реальном времени являются эффективным инструментом для управления сложными процессами, в которых участвует большое количество активов производственных процессов [40]. К таким процессам относятся потоки производства изделий машиностроения, инфраструктурные потоки городского движения, логистические системы и др.

Методы мультиагентного подхода используются также для поиска и обработки информации в информационных сетях, системах управления автономными роботами. Перспективным направлением развития мультиагентных систем является разработка беспилотных автомобилей и летательных аппаратов.

Схема коллективного взаимодействия интеллектуальных агентов представлена на рисунке 6.4. Пользователем может быть как человек, так и физический объект.

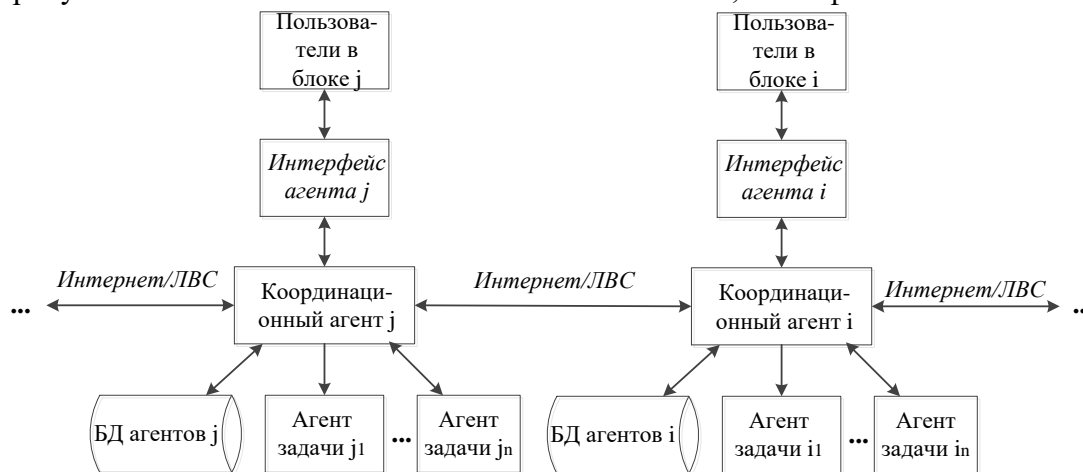


Рис. 6.4. Схема коллективного взаимодействия интеллектуальных агентов

Использование идеи коллективного поведения агентов приводит к массе решений. Среди них, в частности, в CPS следует выделить такие решения, как формирование совместных планов действий, возможность учета совместных интересов агентов, синхронизация совместных действий. В процессе выполнения коллективных действий. Возможно появление конфликтующих целей агентов, возникновение конкуренции за совместные ресурсы. Эти проблемы могут решаться посредством организации переговоров о совместных действиях, распознавание

необходимости кооперации, выбор подходящего партнера, обучение поведению в коллективе, декомпозиция задач и разделение обязанностей, правила поведения в коллективе, совместные обязательства и т.д.

В процессе формирования кооперативного решения сообществом агентов в CPS-среде выделяют четыре этапа:

1. Распознавание ситуации. Процесс выбора решения в мультиагентной среде начинается тогда, когда агент распознает целесообразность кооперативного действия. Например, агент с установленным сервисным набором устанавливает цель, достичь которую из-за своей ограниченности он не способен, или для ее достижения он выбирает кооперацию.
2. Формирование мультиагентного сообщества. На этой стадии агент, установивший возможность совместного действия, ищет партнеров. При успешном завершении этой стадии образуется группа агентов, имеющие совместные сервисы для коллективных действий.
3. Формирование совместного плана. Этот этап, на котором агенты договариваются, вырабатывают совместный план, который по их убеждению приведет к желаемой цели.
4. Совместные действия. На этом этапе агенты действуют согласно выработанному плану, поддерживая взаимодействие друг с другом, согласно принятым на себя обязательствам.

Формирование совместного плана начинается при условии, если распознана ситуация и сформирована мультиагентная команда для выполнения установленной цели. Однако коллективные действия не могут начаться до тех пор, пока в группе не будет достигнуто соглашение, что конкретно будет делать каждый агент. Для выработки такого соглашения служит стадия формирования совместного плана. Мультиагентные переговоры являются механизмом выработки такого соглашения. На стадии формирования совместного плана агенты группы осуществляют совместные попытки добиться такого состояния в группе, в котором все агенты согласовали бы совместный план. Процедура согласования реализуется специальным алгоритмом поиска соглашения.

Во время переговоров агенты предлагают планы, уточняют их с другими агентами, модифицируют предложенные планы до тех пор, пока все агенты не согласятся с единым планом.

При успешности завершения стадии планирования начинается стадия совместных действий. При нормальном ходе этого процесса действия выполняются согласно принятому плану вплоть до его завершения.

В настоящее время многоагентная модель широко применяется при проектировании систем автоматизации производства на различных уровнях. Удобство такого подхода и широта его использования обусловлены схожестью многоагентной модели с реальными процессами, происходящими в человеческой среде. Действительно, в классической многоагентной системе под агентом понимается некая умная сущность, как правило, активная и способная взаимодействовать с окружающей средой. Интеллектуальное поведение этих сущностей поддерживается совместной работой таких компонент, как блок решающих правил для вычисления плана, блок правил для управления задачами, их декомпозицией и размещением, а также блок правил для поддержки соглашений с другими агентами при кооперативном решении задач.

Реактивное поведение реализуется с помощью многоуровневой системы управления (рис.6.5), которая реагирует на изменение состояния рабочей памяти (при поступлении новых результатов решения задачи, установлении целей или сообщений, а также при изменении имеющихся данных, межагентских соглашений или состояний задач).



Рис. 6.5. Система управления мультиагентной команды

В такой многоуровневой структуре выделяются следующие уровни управления мультиагентной команды:

1. Уровень специфических предметных знаний, в котором содержатся предметные знания.
2. Уровень знаний о процедурах вывода. Этот уровень содержит декларативные правила вывода, которые должны применяться к предметным знаниям о конкретном объекте, чтобы вывести новые данные. Этот уровень является основой управления мультиагентной команды.
3. Менеджер задач ответственен за декомпозицию задач на подзадачи и их распределение по соответствующим агентам, а также за управления переходами состояний задач. Управление кооперацией агентов использует механизм, «...основанный на взаимных обязательствах агентов (любой агент согласен предпринимать схему действий, которая имеет целью исполнить задачу за подходящее время), и соглашениях о том, при каких условиях агент может отказаться от своих обязательств и как он должен себя вести по отношению к другим агентам, когда такие обстоятельства возникнут».
4. Уровень управляющих знаний, который использует онтологию предметных знаний, чтобы генерировать схему вывода. На этом уровне добавляются новые знания.

Такое функциональное разделение знаний на предметные знания, знания о процедурах вывода и управляющие знания структурирует нужным образом их представление, повторное использование и их использование для достижения целей.

Будучи объединёнными в коллективы, такие агенты способны решать задачи гораздо более сложные, чем мог бы решить один агент.

Интеллектуальные агенты могут получать данные не только от физических устройств технологических процессов физического мира, но и от других виртуальных агентов, а также от сервисных запросов информационных систем управления производством.

Перспективной вехой развития автоматизации предприятия в настоящее время является внедрение самоорганизующихся технологических процессов. Такая техническая самоорганизация в автоматизации относится к ультрасовременным методам построения автоматизации технологии и производства.

Агентно-ориентированный подход, основанный на использовании интеллектуальных (рациональных) агентов, это понимание вычислительной части КФС как ИИ, планирование способности достигать поставленных целей.

Организация архитектуры агентов на принципах искусственного интеллекта (ИИ) имеет преимущества с точки зрения удобства использования методов и средств символического представления знаний, разработанных в рамках искусственного интеллекта.

Искусственный интеллект – область информатики, занимающаяся разработкой интеллектуальных компьютерных систем, обладающих возможностями человеческого разума (понимание языка, обучение, способность рассуждать и решать проблемы) [41].

Термин «искусственный интеллект» относится к конкретной области вычислительной техники, которая фокусируется на создании систем, способных собирать данные и принимать решения и/или решать проблемы [36].

Примером базового ИИ является компьютер, который может принимать 1000 фотографий кошек для ввода, определять, что делает их похожими, а затем находить фотографии кошек в интернете. Компьютер научился, насколько это возможно, как выглядит фотография кошки и использует этот новый интеллект, чтобы найти вещи, которые похожи. Структура базового уровня области искусственного интеллекта показана на рисунке 6.6.

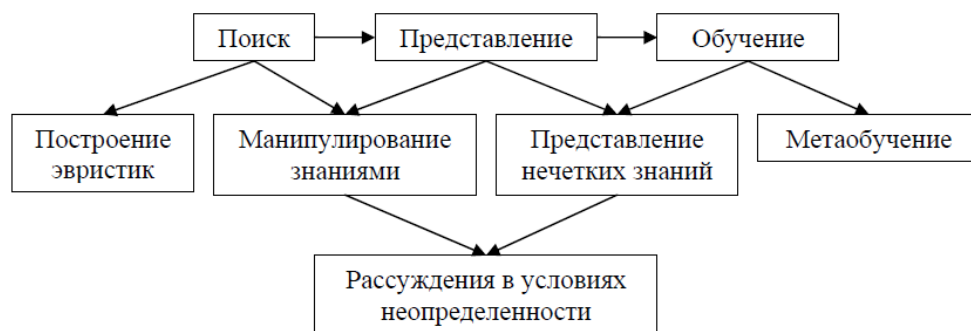


Рис. 6.6. Структура базового уровня области искусственного интеллекта

ИИ обладает свойством *автономности*. Автономность означает, что конструкция ИИ не нуждается в помощи людей. Беспилотные автомобили иллюстрируют термин «автономный» в различной степени. Автономия четвертого

уровня представляет собой транспортное средство, которое не нуждается в рулевом колесе или педалях: ему не нужен человек внутри него, чтобы работать на полную мощность. Автомобиль, работающий без водителя и не нуждающийся в подключении к любой сетке, серверу, GPS или другому внешнему источнику для функционирования – уровень автономии пять.

Все, что выходит за пределы этого, можно было бы назвать разумным, и, несмотря на скачки, которые были сделаны недавно в области ИИ, сингулярность (событие, представляющее ИИ, который становится самосознающим) на данный момент является чисто теоретическим.

Основными свойствами ИИ являются: понимание языка, обучение и способность мыслить и действовать. ИИ – комплекс родственных технологий и процессов, развивающихся качественно и стремительно. Примерами ИИ являются (рис.6.7, 6.8) [42]:

- обработка текста на естественном языке;
- машинное обучение;
- экспертные системы;
- виртуальные агенты (чат боты и виртуальные помощники);
- системы рекомендаций.



Рис. 6.7. Примеры применения искусственного интеллекта

Технологии искусственного интеллекта широко востребованы в самых разных отраслях [36].

Искусственные нейронные сети, такие как технология Concept Processing в программном обеспечении EMR, используются в качестве клинических систем принятия решений для медицинской диагностики. Сегодня ИИ в медицине выполняет:

1. Компьютерная интерпретация медицинских изображений. Такие системы помогают сканировать цифровые изображения, например, от компьютерной томографии, для типичных проявлений и для выделения заметных отклонений, таких как возможные заболевания.

2. Анализ сердечного ритма.
3. Роботы-помощники для ухода за престарелыми.
4. Обработка медицинских записей для предоставления более полезной информации.
5. Создание планов лечения.
6. Выявление повышенного риска заболеваний.
7. Создание лекарств.
8. Использование человекоподобных манекенов вместо пациентов для клинического обучения.

Более 90 стартапов, основанных на применении ИИ, представлены в области медицины.

Перспективы развития ИИ несут не только надежды человечества, но и потенциальные опасности.

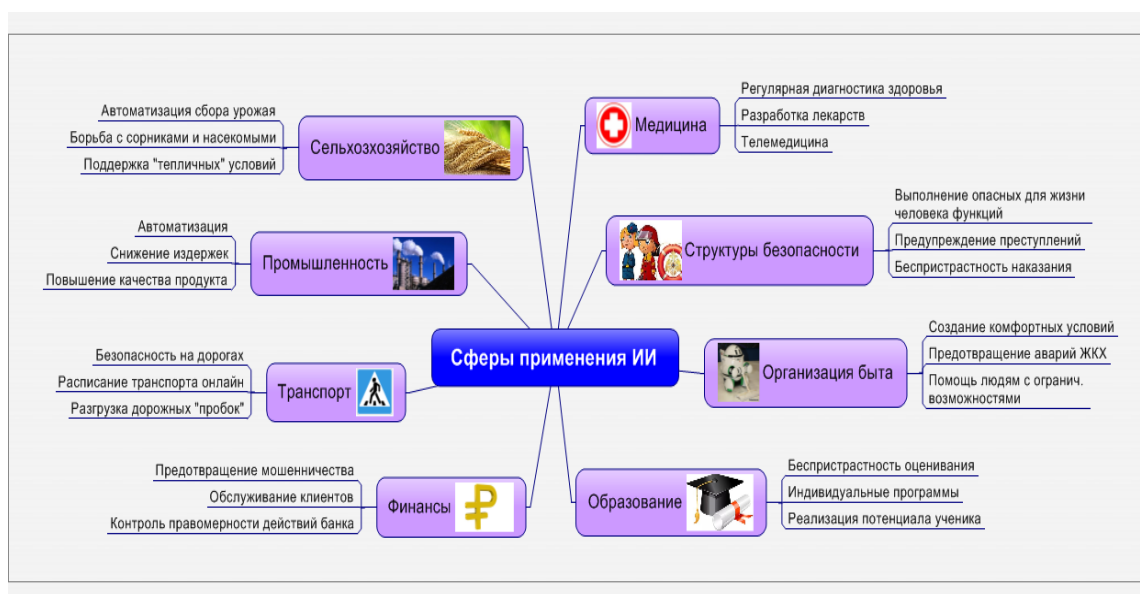


Рис.6.8. Области применения искусственного интеллекта

Специалисты могут создать слишком мощный искусственный интеллект, который устремится для достижения своих целей. И если эти цели не будут совпадать с человеческими, то у людей будут проблемы. Вот почему озаботились международные комиссии по ИИ.

25 апреля 2018 года Европейская комиссия представила обращение «Искусственный интеллект для Европы», адресованное Европарламенту, Совету Европы, европейским экономическим и социальным комитетам и комитетам регионов. В документе затрагиваются вопросы будущей политики ЕС в отношении ИИ, развития технологической и индустриальной базы, установления этических норм и норм ответственности в отношении ИИ. К Обращению прилагается проект документа «Ответственность в отношении новых цифровых технологий», в котором представлены анализ существующих применимых правил и принципов существующего законодательства, анализ выработанной практики и др.

В соответствии с этими рекомендациями Институт инженеров электротехники и электроники (IEEE) разработал три новых стандарта этики для искусственного интеллекта:

1. Стандарт для этического влияния роботизированных и интеллектуальных систем. В этом стандарте рассматриваются действия ИИ, скрыто или явно влияющие на поведение и эмоции человека. Чтобы роботы придерживались в этом вопросе общепринятой этики и принципов морали, инженеры и философы должны вместе заниматься разработкой подобных систем.
2. Стандарт отказоустойчивости. Роботизированные системы в процессе работы потенциально могут нанести вред людям и окружающей среде, поэтому стандарт для создания эффективных мер безопасности, снижающих риск ошибок, и безопасного прекращения эксплуатации скомпрометированных систем устанавливает четкие процедуры оценки, тестирования и сертификации отказоустойчивости роботизированных систем.
3. Стандарт для влияния ИИ на благосостояние общества. Создатели ИИ – программисты, инженеры, технологи – должны учитывать, как произведенные ими устройства изменяют благосостояние людей с точки зрения производительности труда и экономического роста. В этом стандарте определяется, какие показатели человеческого благосостояния необходимо принимать в расчет при внедрении тех или иных интеллектуальных систем. Это обеспечит основу для согласования данных между различными специалистами. Еще одним примером этических норм для ИИ является корейский устав для роботов (Korean Robot Ethics Charter). Документ включает в себя 7 статей, которые закрепляют следующие этические стандарты для роботов (примерный текст):

- статья 1 (цель): основой этики робота является стремление к совместному процветанию человека и машины;
- статья 2 (общий принцип человеческого бытия и робот): человек и робот должны поддерживать достоинство друг друга;
- статья 3 (человеческая этика): при производстве робота, человек должен искать вдохновение в наилучших возможных образах;
- статья 4 (роботизированная этика): робот должен быть человеку другом, помощником и партнером; робот не должен наносить ущерб людям;
- статья 5 (этика производителя): производство роботов должно быть направлено на защиту людей и повышения их достоинства;
- статья 6 (этика пользователей): потребитель должен хорошо относиться к роботу, не допускать незаконный оборот роботов;
- статья 7 (обещание исполнения): правительство и местные органы власти, чтобы воплотить дух устава, должны обеспечить контроль за соблюдением правил этики по отношению к роботам.

Наиболее важной частью ИИ является алгоритм. Это математические формулы и / или команды программирования, которые информируют обычный неинтеллектуальный компьютер о том, как решить проблемы с искусственным интеллектом.

Алгоритм – правила, которые учат компьютеры. Искусственный интеллект – система, которая может научиться учиться. Люди пишут исходные алгоритмы для системы, которая позволяет компьютеру впоследствии писать собственные алгоритмы без дополнительного контроля или взаимодействия с человеком. Этот процесс позволяет ИИ постоянно учиться и решать новые проблемы внутри постоянно меняющейся среды, основываясь на продолжающемся сборе данных.

Выделяют два основных подхода к разработке искусственного интеллекта:

- нисходящий – создание экспертных систем, баз знаний и систем логического вывода, имитирующих высокоуровневые интеллектуальные процессы: мышление, рассуждение, речь, эмоции, творчество и т.д.;
- восходящий – изучение нейронных сетей и эволюционных вычислений, моделирующих интеллектуальное поведение, а также создание соответствующих вычислительных систем, таких как нейрокомпьютер или биокомпьютер.

Сложно назвать время, когда плоды воображения разработчиков ИИ обретут физическое воплощение. Прогрессировать нужно не только технологиям, но и человеку. Социум должен быть готов принять «железный» мир и интеллектуальную нацию устройств. На период адаптации нужно время. Чтобы люди начали доверять роботизированным полицейским, врачам и водителям, их искусственный интеллект должен быть равным человеческому. В то же время, сможет ли несовершенный человек создать совершенную систему? Сможет ли отследить ту грань, где искусственный интеллект – друг, а не опасность? И сможет ли избежать технической зависимости?



## РАЗДЕЛ 7. ОБЛАЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ IOT

В интернет среде разбросаны мощные компьютерные центры – так называемые «дата центры» – которые располагают очень значительной производительностью вычислений, и, будучи объединенными по некоторой технологии в сеть, позволяют получить практически неисчерпаемый вычислительный ресурс.

В настоящее время предлагаются технологии, которые позволяют любой компании или организации «арендовать» в этом виртуальном пространстве виртуальную машину любой вычислительной мощности: от мощности обычного ноутбука до мощности суперкомпьютера [41].

Идея аренды вычислительных мощностей в интернет среде состоит в том, чтобы выполнять здесь вычисления, обработку больших данных и тем самым избавить ИТ специалистов и эксплуатирующие предприятия от необходимости непрерывной замены аппаратно-программных средств и приобретения новых лицензий из-за быстрого развития СВТ.

Стратегический переход на облачные вычисления приводит к изменению роли ИТ-подразделения на предприятии. Начав использовать облачные услуги, предприятие может очень быстро масштабировать свою инфраструктуру, тем самым быть готовым к изменениям. Многие предприятия уже перенесли свою ИТ-инфраструктуру в частное облако. Это позволило им решить перечисленные выше проблемы.

В результате обеспечивается высокая доступность и масштабируемость ИТ решений. При этом существенно сокращаются затраты, связанные с построением и последующим обслуживанием ИТ-инфраструктуры. Перенос инфраструктуры в облако позволяет масштабировать ее по мере необходимости [43]. Это абсолютно необходимо для компаний, чьи потребности в вычислительных ресурсах и ресурсах хранения данных плохо поддаются планированию. Для предприятий с относительно стабильным потреблением ИТ-ресурсов выгодой от использования облачных технологий является оптимизация ее ресурсов.

При использовании облачных ресурсов достигаются следующие преимущества.

*Безопасность.* Централизация чувствительных для бизнеса данных в облачном хранилище повышает безопасность решения, позволяет убрать важные данные с компьютеров пользователей. Известно, что большая часть утечек конфиденциальных данных происходит при непосредственном участии сотрудников предприятий. Храня данные в централизованных облачных хранилищах, облачные вычисления обеспечивают надежную защиту корпоративных данных. Поставщики облачных услуг содержат штат профессионалов, способный внедрять в свои решения последние новшества, связанные с ИТ-безопасностью.

*Квалифицированное обслуживание.* Облачные вычисления подразумевают централизацию приложений. В облаке все обновления и изменения конфигурации необходимо производить на централизованном сервере. Так как централизованные приложения намного проще обслуживать, чем распределенные, упрощение процесса сопровождения повышает привлекательность технологии. К такому централизованному обслуживанию привлекаются квалифицированные специалисты [44].

В облачных технологиях ИТ управления бизнесом различают:

- IaaS – Infrastructure as a Service – *инфраструктура как услуга*, например, виртуальные серверы и виртуальная сеть; клиент может устанавливать любое программное обеспечение и приложения;
- PaaS – Platform as a Service – *платформа как услуга*, например, веб-сервер или база данных; клиент управляет приложениями, операционной системой управляет провайдер;
- saas – software as a service – *программное обеспечение в качестве услуги*, например, электронный почтовый ящик, другое офисное приложение; клиент использует приложение, базовыми настройками которого управляет провайдер.

Рассмотрим в качестве примера на рисунке 7.1 приготовление пиццы как услуги. Заказ пиццы помогает разобраться в ключевых видах облачных услуг и различиях между ними.



Рис.7.1. Варианты приготовления пиццы (пицца как сервис)

Чтобы понять особенность применения этих технологий представим себе, что человек захотел съесть пиццу.

Рассмотрим следующие варианты, изображенные на рисунке 7.1:

- приготовить ее своими руками;
- приготовить пиццу из полуфабрикатов;
- заказать доставку готовой пиццы на дом;
- поехать в пиццерию и съесть пиццу там на месте.

Первый вариант (своими руками) – это традиционный вариант, когда человек делает все сам, практически не используете никаких внешних подрядчиков/поставщиков услуг. У вас дома есть плита, в магазине вы купили продукты, вы сами замесили тесто, сами натерли помидоры, сыр, порезали грибы, зелень, добавили специй. Все готовите самостоятельно. Кажется, что это вариант для

домохозяек, у которых много свободного времени. Это аналог On Prem, дословно как «на предприятии», что означает использование собственных ресурсов для размещения программного обеспечения.

Во втором варианте приобретается готовое тесто, готовый томатный соус и даже натертый сыр. Ваша основная задача – собрать все в правильной последовательности, разогреть духовку до нужной температуры и вовремя вынуть готовую пиццу из нее. Это аналог IaaS.

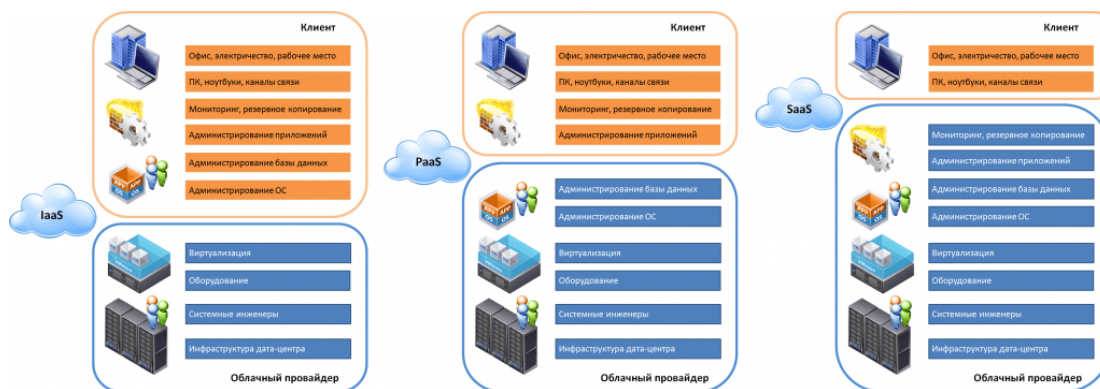
Третий вариант – вы заказываете пиццу на дом. Вы уже ничего не готовите, у вас даже может не быть плиты на кухне. Вы занимаетесь лишь сервировкой стола и, возможно, вариантами напитков. Это аналог PaaS.

Четвертый вариант – все «под ключ». Вы приходите в ресторан, в котором уже все готово к вашему приходу: столы со скатертями, приправы, оливковое масло, официанты и приятная музыка. Для вас готовят пиццу, вы ее съедаете и уходите, не задумываясь о грязной посуде и оставленном на скатерти пятне. Это аналог SaaS.

*Переложим этот пример на область информационных технологий.*

Пусть поставлена задача построить и запустить какой-либо ИТ-сервис внутри компании, например, пусть запускается новая учетная система.

Прежде всего, необходимо подумать, на каком оборудовании (серверном и сетевом) будет работать данный сервис. На сервер необходимо будет установить операционную систему и само приложение. Сервер подключить к каналам связи, чтобы к нему был доступ не только из офиса, но и из удаленных филиалов, с домашнего компьютера, с ноутбука в отпуске. Для обеспечения высокой доступности, данный сервер следует разместить в специализированном помещении, отвечающем требованиям по независимым энерговодам, наличию дизель-генератора и зарезервированного охлаждения и пр. При этом возможно построить собственное специализированное помещение либо арендовать место в коммерческих дата-центрах.



*Рис. 7.2. Распределение программно-вычислительных ресурсов при использовании облачных технологий*

*Первый вариант* (своими руками), при котором выполняется все самостоятельно, строится серверная, покупается свое оборудование, лицензии на программное обеспечение, устанавливаются и настраиваются приложения, все происходит целиком на вашей стороне, в вашей зоне ответственности. Этот вариант рабочий, но достаточно трудоемкий и длительный по срокам. Потребуется минимум

2 месяца на поставку оборудования и еще минимум два месяца на внедрение, настройку и запуск в промышленную эксплуатацию.

*Второй вариант* – воспользоваться услугой IaaS (рис.7.3), инфраструктурой как сервисом. Нет необходимости приобретать оборудование, строить собственный дата-центр, нанимать системных администраторов, отвечающих за обслуживание оборудования на физическом уровне. Перечисленные функции передаются на обслуживание в облаке. В зоне ответственности остается только управление ОС, установкой и настройкой необходимых приложений.

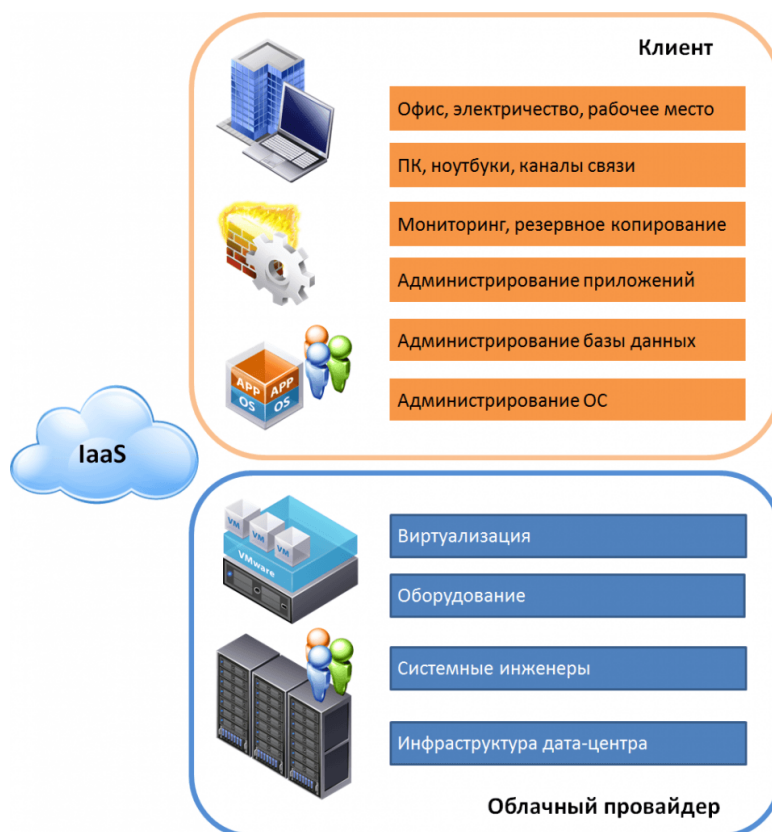


Рис. 7.3. Инфраструктура в качестве услуги

*Вариант третий.* Переход от модели IaaS к PaaS модели (рис.7.4), представляющей платформу как сервис. Облачный провайдер получает управление ОС и БД.

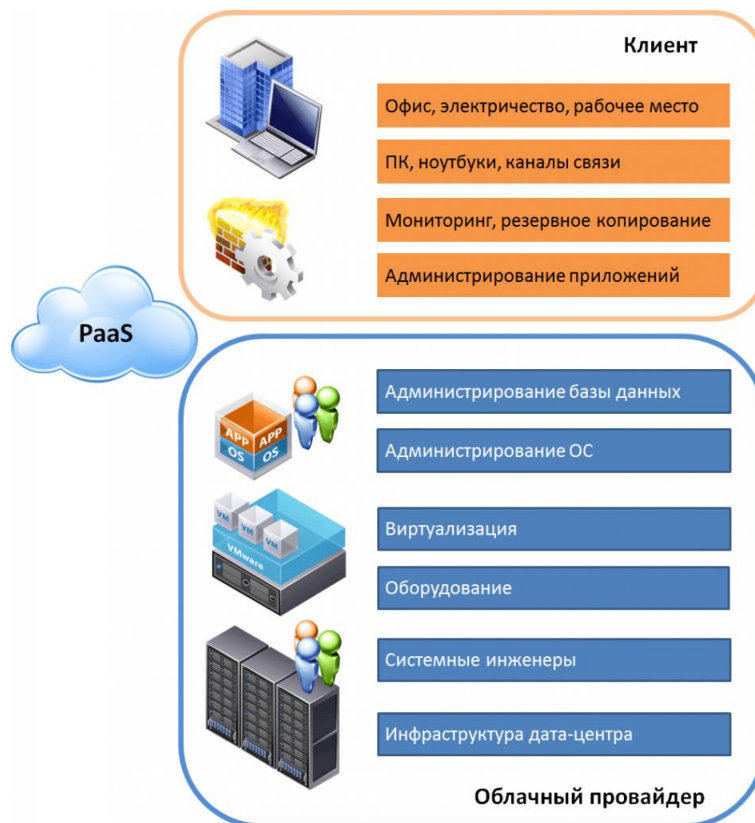


Рис. 7.4. Платформа как услуга

Четвертый вариант (рис.7.5). Программное управление передано облачному провайдеру в качестве сервиса, в полномочия входит установка и настройка приложений, мониторинг, резервное копирование. При выборе данной модели нет необходимости в штатных ИТ специалистах, любой технический специалист может выполнять функции менеджера.



Рис. 7.5. Программное обеспечение как услуга

Подводя итог, можно вывести следующие определения:

Инфраструктура в качестве услуги IaaS – это представление вычислительных ресурсов по запросу, для развертывания и запуска программного обеспечения, операционных систем и приложений. Клиент не имеет возможности контролировать и управлять физической инфраструктурой, но может контролировать ОС и развернутые приложения.

Платформа в качестве услуги, PaaS – это представление облачной платформы для развертывания ПО, созданного на базе языков программирования и инструментов, поддерживаемых облачным провайдером. Заказчик не может управлять инфраструктурой в облаке, сетевым и серверным оборудованием, ОС, хранением БД, но может контролировать развернутые приложения и настраивать окружающую среду.

ПО в качестве услуги, SaaS – это представление клиенту приложений, которые развернуты провайдером в инфраструктуре облака. Доступ в приложения доступен с любых устройств, используя настроенный браузер. Услуга предоставляется полностью под ключ, клиент не настраивает и не управляет работой приложений.

Можно выделить несколько наиболее распространенных сервисов для переноса в облако. Одними из самых популярных сервисов для миграции в облако в корпоративном сегменте являются почта и ERP. Но помимо них есть и другие, не менее интересные.

Среди них:

- видеонаблюдение;
- виртуальная АТС;

- видеоконференцсвязь (для проведения вебинаров, видео презентаций, видео совещаний);
- управление взаимоотношениями с клиентами - CRM (эта АС часто интегрируется с функциями виртуальной АТС и электронной почты);
- виртуальный офис (набор сервисов по созданию/обработке документов и электронных таблиц в сочетании с функциями документооборота, электронной почты, виртуальной АТС);
- хостинг (виртуальные серверные ресурсы для запуска произвольных приложений, например, хостинг сайтов).

Варианты тарификации облачных сервисов, несколько слов про оплату облачных технологий. Ценообразование облачных сервисов складывается из следующих элементов: *плата за вычислительные мощности + плата за лицензии используемого программного обеспечения (программы виртуализации, операционные системы, приложения) + надбавка сервис-провайдера.*

Преимущества использования облачных ресурсов:

1. У небольших предприятий мало ресурсов, чтобы реализовать полный цикл услуг (проектирование, производство, послепродажное обслуживание).
2. Большие корпорации слишком неповоротливы и не обладают достаточной гибкостью, чтобы своевременно реагировать на вызовы рынка.

Самые крупные платформы облачного производства, действующие на рынке:

- Amazon Web Services;
- Microsoft Azure;
- ThingWorx IoT Platform;
- IBM's Watson;
- Cisco IoT Cloud Connect;
- Salesforce IoT Cloud;
- Oracle Integrated Cloud;
- GE Predix.

Развитие облачных ресурсов заинтересовало и промышленные производства. Киберфизические системы промышленных производств могут быть построены в сервисах IoT и IIoT.

IoT – это сеть связанных через интернет объектов, способных собирать данные и обмениваться данными, поступающими со встроенных сервисов. Устройства, входящие в интернет вещей – любые автономные устройства, подключённые к интернету, которые могут отслеживаться и/или управляться удалённым образом [30].

Преимущества модели IoT для промышленного бизнеса заключаются в следующем [31]:

Активное и высоко результативное использование уникальных технологических установок Internet посредством многофакторного и глубокого вовлечения умных сущностей для управления ими.

Снижение логистических издержек.

Снижение совокупных издержек на поиск и использование ресурсов за счет повышения качества принятия решения КФС.

Повышение эффективности бизнеса может быть достигнуто за счет применения информационных технологий и активного взаимодействия с глобальной сетью посредством вовлеченных в бизнес технологий IoT.

Саморегулирование процессов по оперативным вопросам за счет наделяния управляемой самостоятельностью принятия решений КФС.

Устойчивость к неблагоприятным внешним и внутренним воздействиям за счет прогнозирования и оперативного получения информации о неблагоприятных последствиях из вне и незамедлительного реагирования на них.

Сокращение количества и смягчение влияния барьеров, ограничивающих развитие производства за счет использования различных альтернативных эффективных вариантов достижения установленных целей, с использованием всех доступных исполнителей, ресурсов для исполнения, времени исполнения, способов и технологий исполнения.

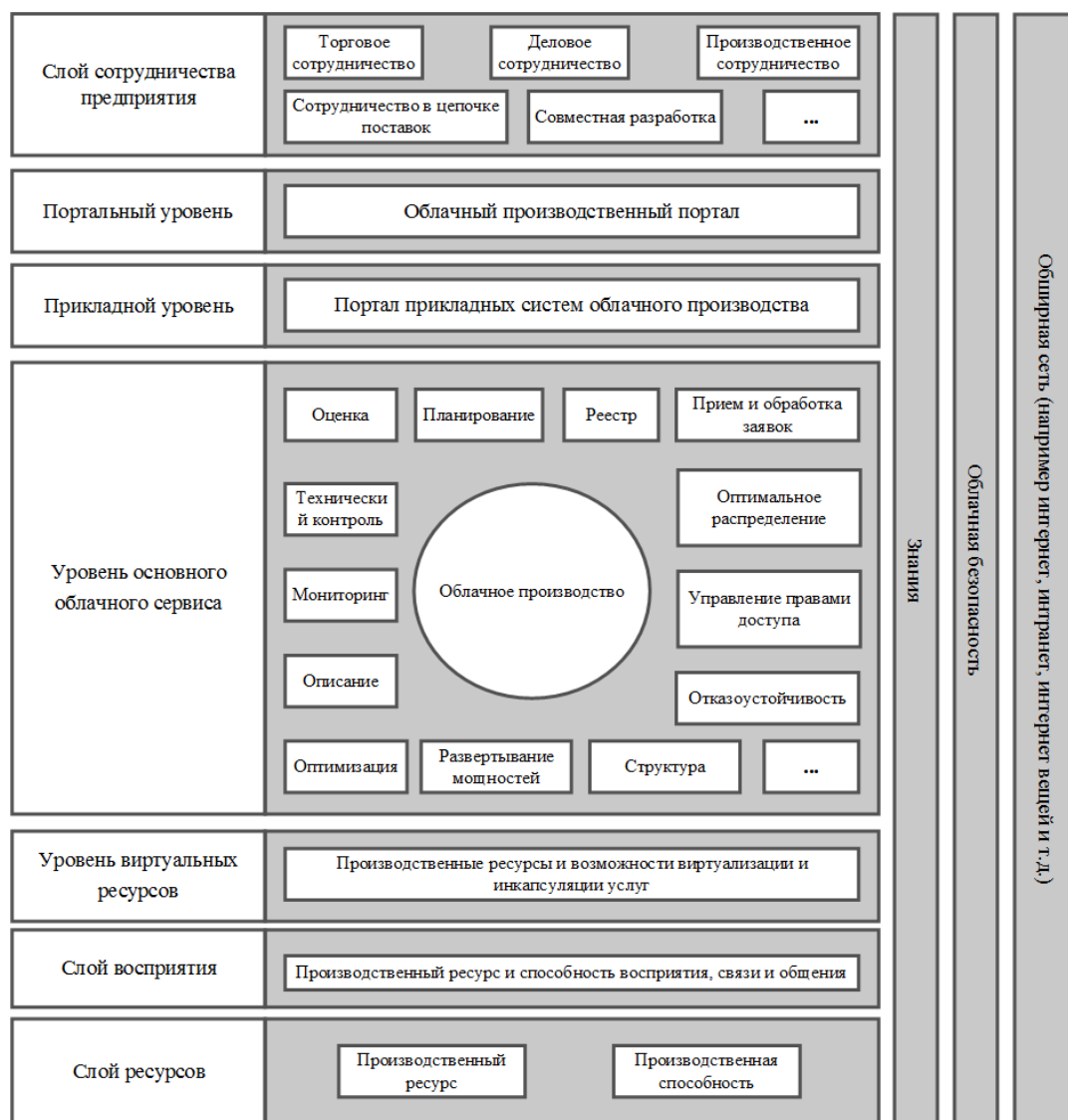


Рис. 7.6. Многоуровневая архитектура облачного управления производством

На рисунке 7.6 представлена гипотетическая система облачного производства, состоящая из множества подсистем – «слоев», реализующих аппаратное, программное, организационное, техническое и математическое обеспечение.



Функционирование системы облачного производства начинается на корпоративном уровне (Enterprise cooperation application layer), решающем вопросы разносторонней кооперации между индустриями и предприятиями.

Различные предприятия, подразделения и отделы работают под общим управлением программного обеспечения порталного уровня (Portal layer) и ПО самой системы облачного производства (Application layer). На данном уровне осуществляется основная часть задач взаимодействия «человек-машина».

Наиболее значимым является служебный слой ядра облачного управления уровень основного облачного сервиса (Core cloud service layer), объединяющий программные и организационно-технические средства в единое облачное производство (прием и обработка заявок, технический контроль, управление правами доступа, планирование, мониторинг, развертывание мощностей, оптимизация и т.д.). От функционирования этой подсистемы зависит эффективность и работоспособность всей облачной производственной модели.

На уровне виртуальных слоя ресурсов создаются виртуальные копии производственных ресурсы и мощности, через которые в свою очередь осуществляется связь с физическим оборудованием и инкапсулируются в производственное облако. Суть такой инкапсуляции заключается в формировании компьютерной модели структуры производственного участка и в сведении киберфизического взаимодействия между облаком и производственным оборудованием.

Понятие виртуализации в широком смысле представляет собой сокрытие физической реализации какого-либо объекта или процесса от истинного его представления для пользователя. Виртуализация – абстракция вычислительных ресурсов (серверов) и предоставление пользователю системы, «инкапсулирующей» (скрывающей в себе) собственную реализацию.

Виртуализация платформ представляет собой среду для создания и использования виртуальных машин поверх реального аппаратно-программного комплекса. Этот вид виртуализации построен на основе полной эмуляции всего аппаратного обеспечения определенной платформы. Такой подход позволяет эмулировать различные аппаратные архитектуры. Примеры продуктов для полной эмуляции: Vochs, PearPC, QEMU (без акселерации), Hercules Emulator.

Главная цель интернета вещей – предоставление конечному пользователю личный комфорт, а также регулярный контроль за расходами.

IoT предполагает исключительно бытовое применение. На его основе функционируют:

- свет и отопление;
- электронные замки дверей;
- камеры наблюдения;
- заказ товаров холодильником;
- системы распознавания речи для управления проигрываемой музыкой;
- полив приусадебного участка.

IoT также отвечает за оптимизацию электроэнергии за счет автоматизированной работы счетчиков. Они могут быть объединены в одну общую сеть, анализирующую расходы как на энергию, так и на воду и газ, и предлагающую варианты экономии хозяину. Система автоматически выключает свет, перекрывает воду, а также контролирует другие бытовые вопросы.

Успех в использовании IoT зависит от стандартизации, которая обеспечит интероперабельность, совместимость, надежность и эффективную работу в мировом масштабе. Многие страны и организации заинтересованы в разработке стандартов для IoT, так как это может принести огромную экономическую выгоду в будущем. Сегодня Международный телекоммуникационный союз, Институт инженеров электротехники и электроники, Европейский Комитет по электротехнической стандартизации, Китайский институт по электронным стандартам и Американский национальный институт стандартов занимаются разработкой различных стандартов для «Интернета вещей». Благодаря созданию общепринятых стандартов разработчики и потребители смогут использовать приложения и сервисы IoT в больших масштабах при сохранении развития и расходов (на техническое обслуживание) в долгосрочной перспективе.

Принципиальной особенностью взаимодействия умных существей в интернет-среде является сервис-ориентированная архитектура (SOA) (рис 7.7).

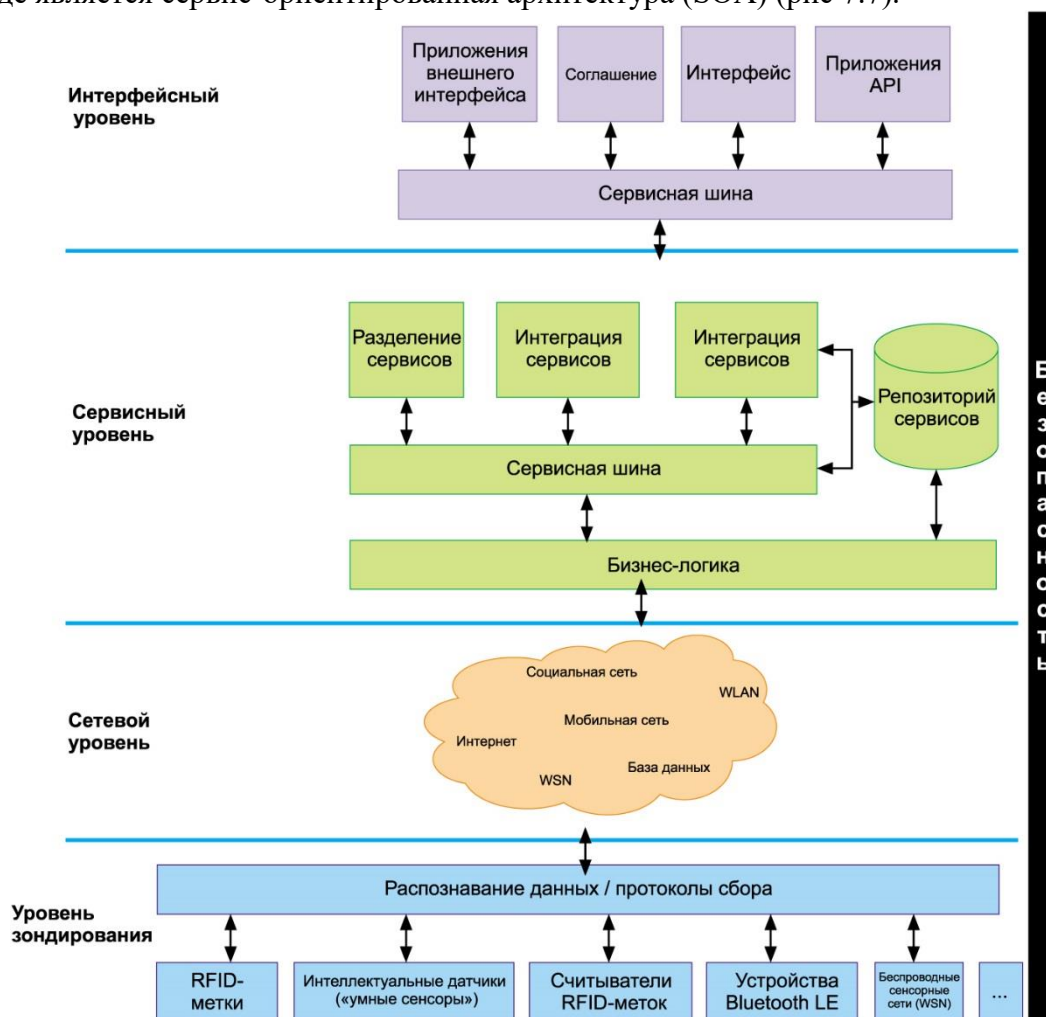


Рис.7.7. Сервисная архитектура для «Интернета вещей»

Уровень измерения и выполнения предписанных действий интегрирован с существующими аппаратными средствами (RFID, датчиками, исполнительными механизмами и т.д.), для того чтобы распознавать/контролировать физический мир и собирать соответствующие данные.

Сетевой уровень обеспечивает базовую сетевую поддержку и передачу данных по беспроводной или проводной сети.

На сервисном уровне назначаются, используются сервисы и осуществляется управление ими.

Интерфейсный уровень обеспечивает взаимодействие между пользователями и с клиентскими приложениями.

Классическая структура интернета вещей (рис.7.8) включает в себя:

IoT-устройства, собирающие показания с датчиков и выполняющие физические действия. Могут быть персональными, носимыми и встроенными.

Шлюзы, которые получают информацию от устройств и передают им команды выполнения действий. Как правило, представлены аппаратным маршрутизатором или программным обеспечением; используют разные протоколы.

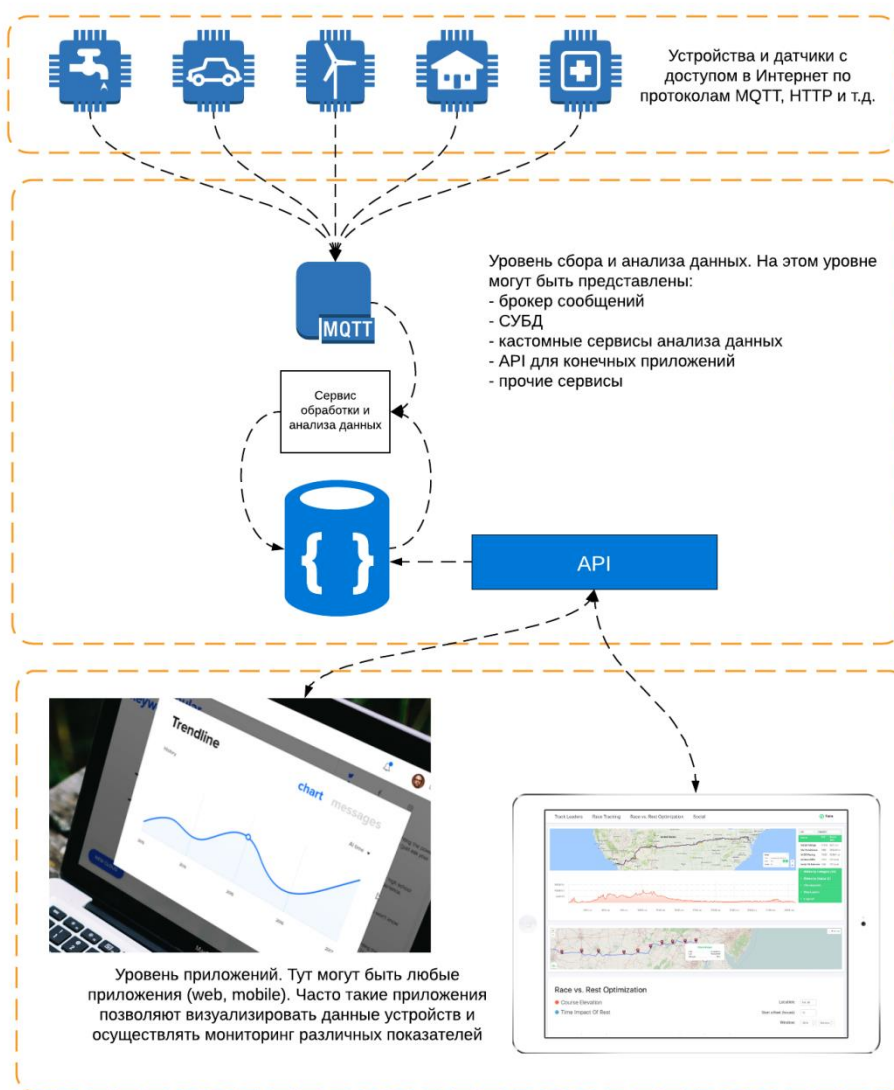


Рис. 7.8. Основные уровни структуры интернета вещей

Сервер, где хранятся, обрабатываются и анализируются показания датчиков реализован на базе виртуального сервера, реальной машины или через облако.

Клиентская часть, реализуется через мобильное или веб-приложение. Обеспечивает доступ к данным устройств и наглядному представлению результатов анализа.

Таким образом, основная идея IoT заключается во взаимодействии вещей с сервером и между собой с использованием назначенных им сервисов, что сводит участие человека к минимуму. Например, счетчики электроэнергии, отсылающие показания в управляющую компанию; GPS-трекеры, отслеживающие движение такси; умные каски, разнообразные фитнес-браслеты – интернет вещей.

Соединение «умных вещей» в единую сеть предоставляет критически важные качественные изменения для развития человеческой жизнедеятельности. Одной из главных предпосылок к этому является переход к использованию в сети интернет-протокола IPv6, дающего возможность предоставить выделенный уникальный адрес каждому подключаемому устройству. При этом основную часть из подключаемых объектов будут составлять разнообразные специализированные устройства, имеющие в своем составе микроконтроллер с различными платами расширения – модуль передачи данных, модуль памяти, средства измерения (датчики) и средства идентификации. Для управления устройством, обработки и передачи данных на контроллере может использоваться любая операционная система реального времени, отвечающая за сбор и первичную обработку данных для минимизации трафика.

## РАЗДЕЛ 8. ЧЕТВЕРТАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ РЕВОЛЮЦИЯ. УМНЫЙ ЗАВОД. УМНЫЙ ГОРОД

В 2011 году состоялась крупнейшая в мире промышленная выставка – Ганноверская ярмарка, где впервые был применен термин «Индустрия 4.0», используемый для обозначения четвертой промышленной революции [44].

Считается, что 1-я революция длилась порядка 100 лет и была связана с механизацией труда, овладением энергией пара, появлением фабрик и разделением труда.

2-я революция в промышленности была обусловлена электрификацией и внедрением конвейерного производства в начале.

Таблица 2

### *Промышленные революции*

Промышленный переворот	Период	Инновации/прорывы	Результат
Первая промышленная революция	конец XVIII в. – начало XIX в.	водяные и паровые двигатели, ткацкие станки, механические устройства, транспорт, металлургия	переход от аграрной экономики к промышленному производству, развитие транспорта
Вторая Промышленная революция	вторая половина XIX в.– начало XX в.	электрическая энергия, высококачественная сталь, нефтяная и химическая промышленность, телефон, телеграф	поточное производство, электрификация, железные дороги, разделение труда
Третья промышленная революция	конец XX в. (1970 г. и далее)	цифровизация, развитие электроники, применение в производстве инфокоммуникационных технологий (ИКТ) и ПО	автоматизация и робототехника
Четвертая промышленная революция	Термин введен в 2011 г. в рамках государственной Hi-Tech Стратегии Германии (один из десяти проектов Industrie 4.0)	глобальные промышленные сети, Интернет вещей, переход на возобновляемые источники энергии, переход от металлургии к композитным материалам, 3Д принтеры, вертикальные фермы, синтез пищи, самоуправляемый транспорт, нейросети, генная модификация, биотехнологии, искусственный интеллект	распределенное производство, распределенная энергетика, сетевой коллективный доступ и потребление, замена посредников на распределенные сети, прямой доступ производителя к потребителю, экономика совместного использования (car sharing)

3-я революцию связывают с автоматизацией производства. В этот период развития промышленности, несмотря на активное внедрение информационных

технологий, электроники и промышленной робототехники в производственные процессы, автоматизация производства, носила преимущественно локальный характер, когда для технологических, производственных и бизнес- процессов использовалась своя автоматизация подчас несовместимые между собой.

4-я революция, *Industry 4.0* – это современная концепция развития промышленности, которая суммирует все информационные технологии, стандарты и новации управления производством на основе интернет-среды [45].



Рис.8.2. Архитектурные признаки Industry 4.0

Industry 4.0 относится к взаимосвязи технологий, способствующих появлению *умного производства* путем внедрения *цифровых инструментов*, процессов и результатов. Использование преимуществ новых производственных стратегий, таких как CPS, гибкое производство и быстрая перенастройка, помогает производителям объединить интегрированные компьютерные сети, которые связывают активы производств [46].

Особенность четвертой промышленной революции заключается в реализации *технологии «сервис-ориентированного производства»*, осуществляющей связь между «умными машинами» посредством декларируемых сервисов.

Развитие интернета, инфокоммуникационных технологий, устойчивых каналов связи, облачных технологий и цифровых платформ, а также информационный «взрыв» вырвавшихся из разных каналов данных, обеспечили появление открытых информационных систем и глобальных промышленных сетей, выходящих за границы отдельного предприятия и взаимодействующих между собой. Такие системы и сети оказывают преобразующее воздействие на все сектора современной экономики и бизнеса за пределами самого сектора ИКТ, и переводят промышленную автоматизацию на новую четвертую ступень индустриализации [44].

Четвертую промышленную революцию описывают через современные тенденции в автоматизации производства:

- элементы «Интернета вещей»;
- искусственный интеллект, машинное обучение и робототехника;
- облачные вычисления;
- Big Data;

- аддитивное производство;
- кибербезопасность;
- интероперабельность;
- моделирование;
- дополненная реальность.

На смену сформировавшейся в первой половине XX века модели удовлетворения массового покупательского спроса путем массового производства приходят новые формы автоматизации производства индивидуального спроса (рис.8.3). При этом предприятие, создающее потребительский продукт выступает как интегратор, задача которого, непрерывно проектировать и производить новую продукцию с учетом, а иногда и с развитием желаний, потребителя продукции. Применяемые при этом механизмы взаимодействия опираются на поисковые сервисы и социальные сети, позволяющие потребителям устанавливать свои потребности. Важнейшим производственным ресурсом становятся знания, а не труд и капитал.

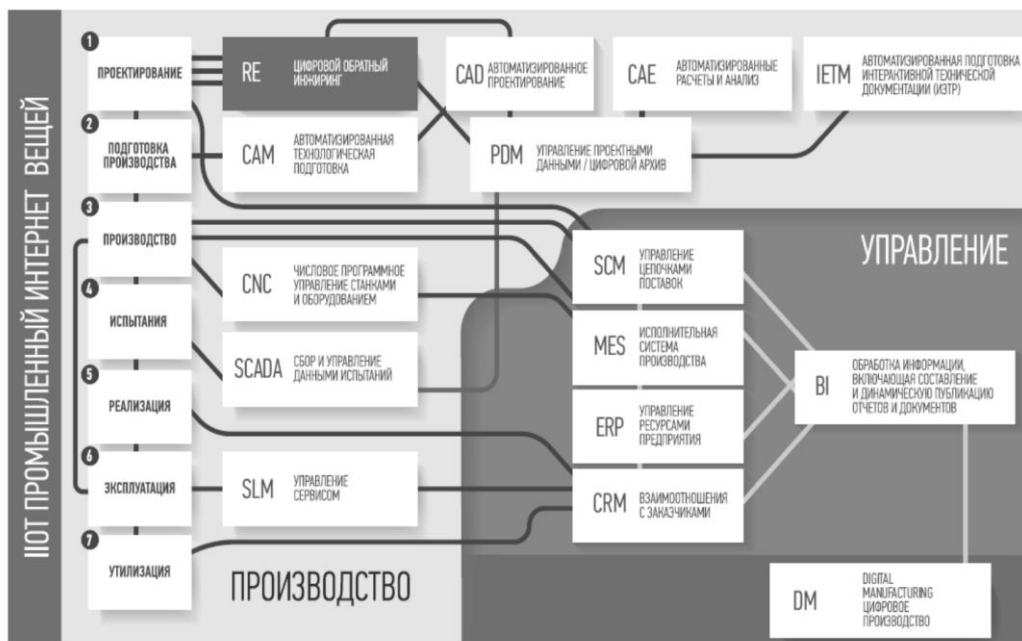


Рис. 8.3. Промышленное производство в эпоху Индустрия 4.0

Ориентация на индивидуальные потребности заказчика предусматривает радикальную перестройку процессов разработки, производства и логистики [46]. Цикл проектирования новых продуктов сокращается, осуществляется быстрая разработка на заказ изделий с высокой степенью кастомизации. Одновременно происходит демократизация средств производства. Основные надежды связываются с аддитивными технологиями (3D-печать). Кроме того, появляется возможность приблизить производство к потребителю, что сокращает логистические затраты – информация между заказчиком, разработчиком и изготовителем передается исключительно в цифровом виде.

В настоящее время получили распространение два подхода к производственным топологиям управления предприятием: процессно-

ориентированный и ориентированный на технологическо-производственную единицу. Эти два подхода основаны на топологическом представлении об иерархичности выполнения производственных операций. В модели, ориентированной на технологическо-производственные единицы, процессы управляются в зависимости от активов. В процессно-ориентированной модели, технологические и производственные активы управляются иерархически взаимосвязанными операциями процессов. Для традиционных средств управления, использующих ПЛК, у производителей технологического оборудования выделяется задача эффективного управления активом. Однако средства управления технологическим процессом, где участвуют активы, основываются на подходе, ориентированном на процесс. Процессно-ориентированными является, и диспетчерское (SCADA) управление технологическим процессом и управление производством в целом (Plant Wide Control). Если управление активами ограничивается простыми контурами управления в пределах технологическо-производственных единиц, например, Smart Asset Control, то управление процессом в целом ставит и решает задачу оптимизации деятельности предприятия.

Недостаток автоматизации, ориентированной на процесс, заключается в том, что сложность управления предприятием в целом наталкивается на трудности в согласовании шкал времени процессов разных иерархических уровней. Попытки формировать интегрированные системы управления, объединяющих SCADA, MES и ERP системы, наталкивается либо на проблемы растянутого промежутка времени их освоения на предприятии, что приводит к необходимости непрерывного обновления с последующим освоением информационных систем управления нового поколения, либо к непрерывному «заплаточному» связыванию отдельных информационных систем управления разных производителей, которые быстро обновляются в связи с развитием компьютерных технологий.

Подход, ориентированный на актив, предполагает естественное выделение объектов управления, что значительно упрощает разработку схем управления ими. Промышленные предприятия создаются для управления системой промышленных активов, включающей производственные процессы и хозяйственную деятельность, с целью получения экономической ценности.

В основе новой промышленной революции лежит естественная промышленная архитектура, которая определяется профилями активов промышленных заводов и предприятий.

Основной целью цифровизации актива является максимальное увеличение эффективности и рентабельности бизнеса. Эффективность и рентабельность активов на технологическом уровне в режиме реального времени контролируется информационными системами бизнес уровня управления. В результате формируется киберфизическая схема каскадного управления, где рентабельность переходит в эффективность. Киберфизическая система, увязанная с основным активом, или группой активов с полным контролем их эффективности дают в результате интеллектуальный актив производственной деятельности.

Системы управления, спроектированные в соответствии с цифровыми промышленными топологиями, обладают рядом очевидных преимуществ.

Во-первых, пользователь указанных систем обязательно поймет их архитектуру, так как она соответствует архитектуре завода. Это упростит инженерное обеспечение и уменьшит объем знаний, необходимых для эффективного применения системы.



Также, ввиду того, что все узлы в архитектуре рассчитаны на автономную работу в условиях киберфизической системы, процесс первоначальной настройки будет проходить проще за счет деления на четко определенные и естественные составляющие на основе активов и групп активов. Более того, изменения любого устройства или системы к единой системе управления, относящейся к активу, затронет только эту систему. Работа остальной части системы продолжится согласно настройкам.

Цифровой профиль создает развивающийся профиль актива или процесса в цифровом мире, который может предоставить важную информацию о производительности системы, изменении дизайна продукта или производственного процесса, приводя к действиям активов в физическом мире.

*Виртуализация* производства – установление взаимно однозначного соответствия между физическим и информационным пространством средствами компьютерного моделирования физических объектов и операций.

*Децентрализация* обработки информации реализует функционирование подсистем и осуществление обработки информации непосредственно на рабочих местах.

Преимущества децентрализованной системы автоматизации управления:

- возрастание интеграции информационных систем с бизнесом, позволяет пользователю лучше понимать и использовать информацию;
- сокращаются телекоммуникационные затраты;
- каждая из подсистем децентрализованной системы управления становится меньше и проще, поэтому ими проще управлять, создавать и эксплуатировать.

Обеспеченность производства разнообразными датчиками, интернетом вещей и облачными вычислениями, принятие КФС самостоятельных, независимых от людей решений делают возможным такой высокий уровень автоматизации, что позволяет внедрять искусственный интеллект в производство.

*Режим реального времени* – режим обработки информации, обеспечивающий взаимодействие системы обработки информации с внешними по отношению к ней процессами в темпе, соизмеримом со скоростью протекания этих процессов (ГОСТ 15971 90).

Достоинством умных машин является использование для управления процессами производства цифрового близнеца физического актива: цифровой сущности физического объекта в режиме реального времени или виртуального процесса, который помогает оптимизировать эффективность бизнеса.

Промышленность и научные круги определяют цифрового близнеца несколькими способами. Например, цифровой близнец является интегрированной моделью готового продукта, который постоянно обновляется в течение всего срока эксплуатации. Другие специалисты описывают цифровой близнец как сенсорную цифровую модель физического объекта, имитирующую объект в режиме реального времени.

Цифровой близнец может быть определен, в основном, как развивающийся цифровой профиль ретроспективного и текущего состояния физического объекта или процесса, который помогает оптимизировать эффективность бизнеса.

Цифровой близнец актива отличается от его компьютерного дизайна. Он намного более цифровизирован и полностью инкапсулирован в компьютерный симулятор среды промышленного производства. Системы IoT измеряют

технологические параметры активов и реализуют различные диагностики, осуществляют взаимодействия между компонентами и управляют жизненным циклом процессов. Цифровой близнец может обеспечить почти в реальном времени всеобъемлющую связь между физическим и цифровым мирами производства.

До недавнего времени *цифровой близнец* и массивные объемы данных, которые он обрабатывает часто оставались неуловимыми для предприятий из-за ограничений в цифровых технологиях, запретительных вычислений, хранений и пропускной способности.

Такие препятствия, постепенно, с развитием цифровых технологий сокращались все последние годы. Значительно более низкие затраты и увеличение производительности компьютеров привели к экспоненциальным изменениям, которые стали позволять предприятиям объединять информационные технологии и операционные технологии посредством использования цифрового близнеца актива или его цифровой тени.

Благодаря более дешевым и мощным вычислительным возможностям виртуального слоя производства, большие объемы интерактивных измерений теперь могут быть проанализированы современной компьютерной архитектурой массивной цифровой обработки в различных разрезах и критериальных оценках. Усовершенствованные APC-алгоритмы с прогнозированием в реальном времени обеспечат эффективную обратную связь и онлайн анализ ключевых показателей производственных процессов. Цифровой близнец позволит компаниям контролировать весь цифровой след их продукции от проектирования и разработки до конца жизненного цикла продукта. С созданием цифровых близнецов активов, компании смогут реализовывать конкурентные преимущества в скорости выхода на рынок с новым продуктом, улучшенные операции, сокращение дефектов и реализовывать более эффективные бизнес-процессы.

В России разработка цифровых двойников ведется в рамках дорожной карты «Технет» Национальной технологической инициативы (НТИ) создания «Цифровых», «Умных», «Виртуальных Фабрик Будущего» (Digital, Smart, Virtual Factories of the Future) составные части которых показаны на рисунке. 8.4.

Под понятием «Цифровые фабрики» понимаются системы комплексных технологических решений, обеспечивающие в кратчайшие сроки *проектирование и производство* глобально конкурентоспособной продукции нового поколения от стадии исследования и планирования, когда закладываются базовые принципы изделия до его производства и потребления. «Цифровая фабрика» подразумевает повсеместное использование КФС, использующих «умные» модели продуктов или изделий, цифровые двойники Smart Digital Twin машин, конструкций, агрегатов, приборов, установок.

Под «Умными» фабриками (Smart Factory) в дорожной карте понимаются системы комплексно технологических решений, обеспечивающие быструю перестройку производства для изготовления продукции нового поколения. Вся технология производства от заготовки до готового изделия отличается высоким уровнем автоматизации и роботизации, исключая непосредственное участие человека в производстве изделий. В соответствии с концепцией НТИ в качестве

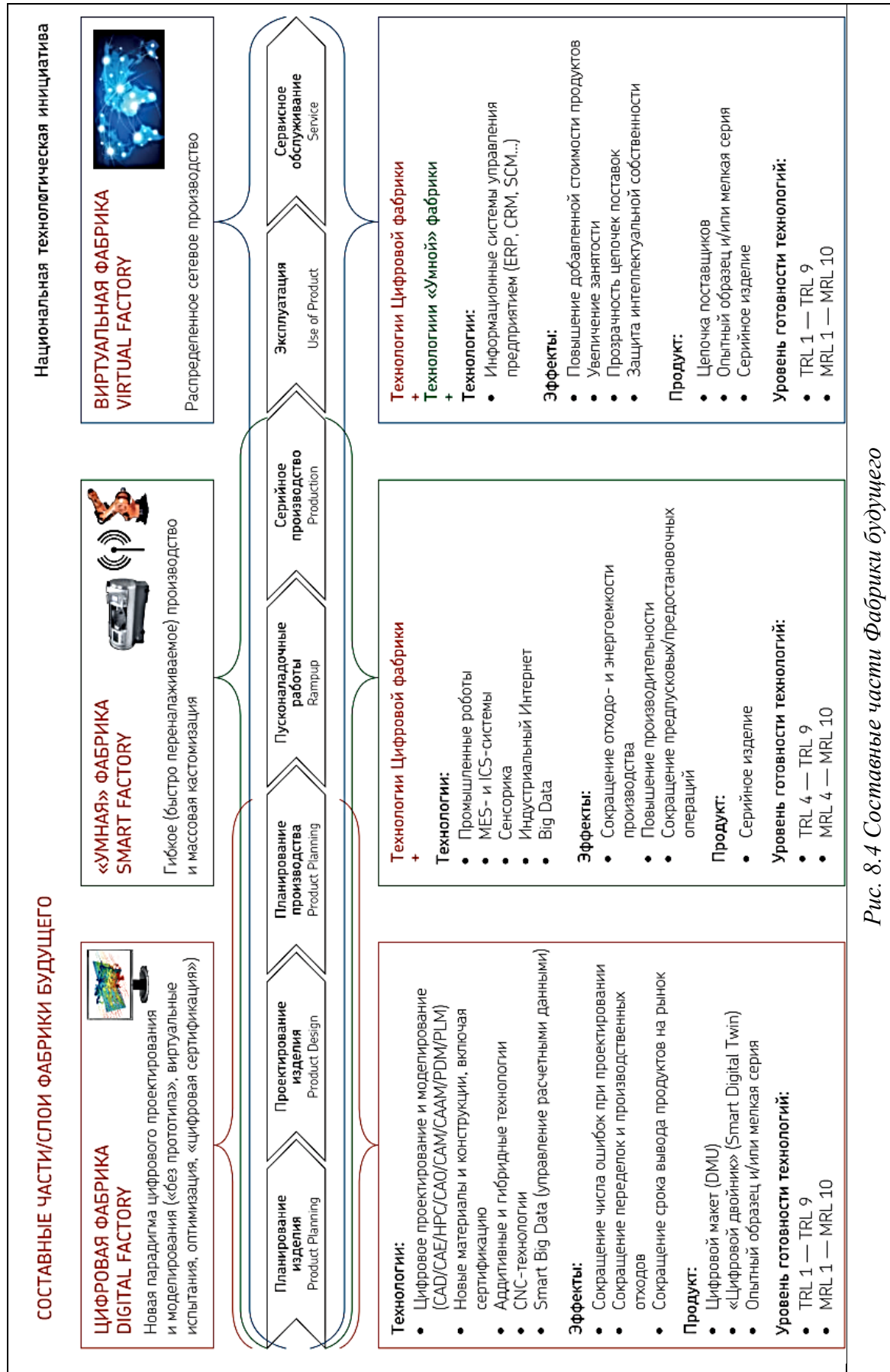


Рис. 8.4 Составные части Фабрики будущего

входного продукта «Умных» фабрик используются результаты работы «Цифровых фабрик».

«Умная» фабрика – цифровое оборудование для производства (станки с числовым программным управлением, промышленные роботы, АСУ ТП и системы оперативного управления производственными процессами на уровне цеха, Manufacturing Execution System, MES).

Под «Виртуальными фабриками» (Virtual Factory) понимаются системы информационно-технологических решений, обеспечивающие в кратчайшие сроки проектирование и производство продукции нового поколения за счет объединения «Цифровых» и «Умных» фабрик в интернет-сеть. «Виртуальная фабрика» – информационные системы управления предприятием, позволяющие исполнителям разрабатывать в интернет пространстве и использовать в виде единого объекта распределенные производственные активы и цифровую модель всех организационных, технологических, логистических и прочих процессов на уровне цепочек «поставки => производство => сбыт => послепродажное обслуживание».

Внедрение «Интернета вещей» охватывает коммуникации и сети, «умные» объекты, приложения и веб-сервисы, бизнес-модели и соответствующие процессы, совместную обработку данных, безопасность и т.д.

Одновременно с интернетом вещей появился и быстро внедряется IIOT (Промышленный интернет вещей) – многоуровневая система. Эта сетевая технология включает в датчики и контроллеры, установленные на узлах и агрегатах промышленного объекта, средства передачи собираемых данных и их визуализации, мощные аналитические инструменты интерпретации получаемой информации и многие другие компоненты [31].

Развитие цифровых платформ открывает новые возможности в организации производства: на смену централизованному планированию и управлению операций в рамках одного предприятия или цепочки поставок приходит модель на основе самоорганизации всех участников производственного процесса – облачное производство, промышленный интернет вещей (IIOT). IIOT производство – облачная технология интернет-доступа к общему фонду переналаживаемых производственных ресурсов (программно-аппаратным средствам управления, технологическому оборудованию, производственным мощностям), которые выполняют заказ в заданный момент времени с минимальными затратами на управление и удобным взаимодействием между поставщиком облачного сервиса и заказчиком.

Ключевыми характеристиками IIOT являются:

- сервисная платформа услуг;
- интернет-аренда виртуальных ресурсов;
- возможность масштабируемости производства;
- оплата только за фактически используемые облачные ресурсы;
- индивидуализация настройки производства под конкретные заказы потребителей.

При использовании облачного производства, заказчик получает доступ к набору распределенных ресурсов (активов), из которых создается или масштабируется производственная линия для выполнения конкретного заказа. Клиент может использовать облачные сервисы на свое усмотрение. Заказчик в облаке может получить различные услуги: конструкторскую подготовку изделия, его дизайн,

производство, выполнение испытаний и другие услуги, связанные с различными этапами жизненного цикла изделия.

На таком облачном производстве предполагается взаимодействие поставщиков реальных производственных ресурсов и их потребителей на основе облачной платформы, обеспечивающей необходимые сервисы.

Поставщики ресурсов публикуют описание предоставляемых реальных ресурсов, связанных с ними компетенций и ноу-хау, интегрируемые в виртуальные сервисы, предназначенные для выполнения производственных процессов.

Заказчик предоставляет описание производственного задания. Подбирается набор подходящих виртуальных сервисов, которые моделируются и симулируются в виде производственной линии, после чего выбирается оптимальный план выполнения работ. Если стоимость, сроки и другие параметры удовлетворяют потребителя, то план выполняется с использованием облачных активов.

Платформа облачных ресурсов обеспечивает передачу информации между всеми участниками взаимодействия, а также предоставляет средства мониторинга и контроля выполнения планов.

Важной частью является то, что потребитель при этом оплачивает только фактическое время использования ресурса, то есть система сама обеспечивает учет и выполняет финансовые расчеты между поставщиками ресурсов и заказчиком.

Обобщенная модель облачного производства в рамках концепции Industry 4 представлена на рисунке 8.5.

ПОТ производство интересно, прежде всего, малым и средним предприятиям, поскольку открывает доступ к недоступным активам и снижает стоимость производства, поскольку оплата осуществляется только за фактическое использование ресурсов. Для корпораций такая модель открывает путь к оптимизации управления, переходу от централизованного иерархического планирования к самоорганизующимся структурам.

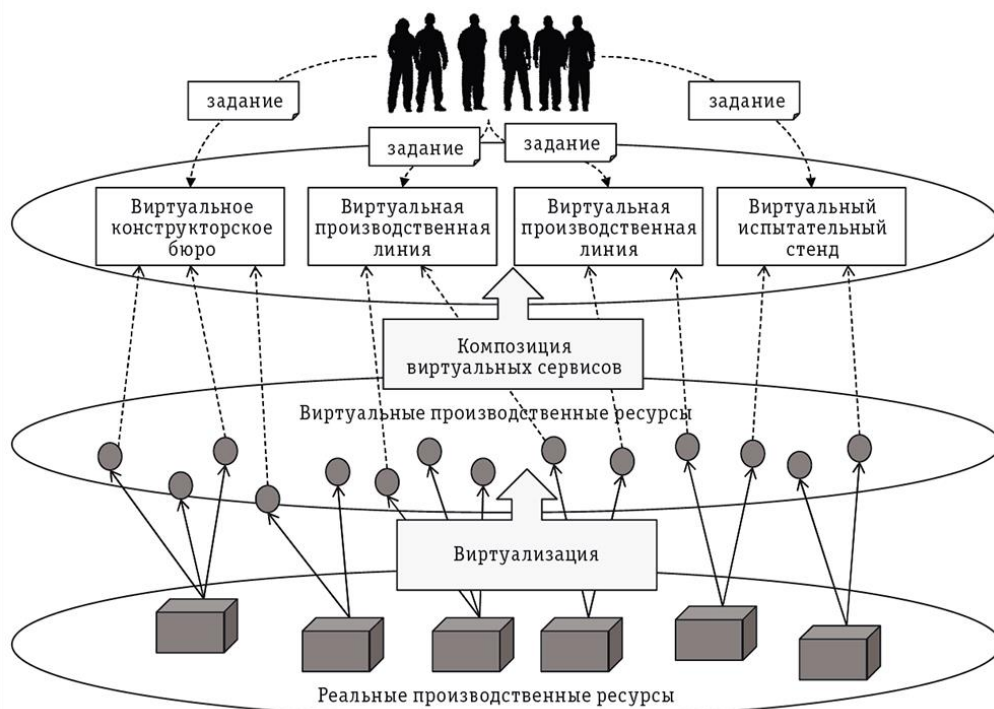


Рис. 8.5. Модель производства в концепции Industry 4

ПОТ производство – новая междисциплинарная область, задействовавшая технологии и концепции: сетевого, гибкого и виртуального производства, производственные сети (MGrid), «интернет вещей» и облачные вычисления. ПОТ производство реализуется на основе платформы облачного производства, которая должна [31]:

- обеспечивать модельное описание ресурсов, услуг и компетенций, задействованных в проекте;
- осуществлять адекватное отображение заданий на виртуальные сервисы и мониторинг выполнения заданий;
- гарантировать эффективные коммуникации между заказчиком и провайдером и расчет справедливой стоимости использования ресурсов.

Для создания полнофункциональной системы ПОТ производства необходимы:

1. Разработка онтологии производственных ресурсов, услуг на их базе и компетенций по проектированию, инженерному анализу, моделированию, испытаниям, сертификации и т. д. Проблема формирования, хранения и поиска описаний услуг и ресурсов, компетенций, сервисов и заданий в настоящее время является подзадачей управления знаниями, поэтому платформа облачного производства может быть построена на основе базы знаний.
2. Для производственных ресурсов должны быть описаны в языковой нотации как функциональные возможности операций (например, сверление отверстий, обработка резцом и т.п.), так и динамические характеристики производственного оборудования (скорость сверления, обработки, пропускная способность, последовательность смены инструмента и др.). Этот же язык должен использоваться заказчиком для описания задания. Наличие единого языка позволит решать задачи отображения задания на виртуальные сервисы, в частности, поиск ресурсов, объединение их в виртуальные производственные линии, комбинирование ресурсов для обеспечения масштабируемости сервиса.
3. Составление и оптимизация расписаний и планов выполнения заданий. В классическом производстве методы производственного планирования, опираются на методологию MRP II (Manufacturing Resource Planning), которая предполагает наличие заранее заданного статичного плана выпуска, в виде главного графика производства. Однако в облачном производстве необходимо обрабатывать стохастический поток заказов с динамическим подбором и формированием виртуальных сервисов. Для решения таких задач нужны оптимизирующие методы класса APS (Advanced Planning and Scheduling), которые связаны с большим объемом вычислений, поэтому применяются сейчас только для отдельных производственных участков и небольших цехов.

ПОТ технология осуществляет переход от устаревшей производственно-ориентированной модели промышленности к сервисно-ориентированной модели. Ключевыми становятся понятия «производство как услуга», «дизайн как услуга», «управление как услуга» и др. С появлением на рынке мощных и доступных производственных услуг появляются новые возможности для малого бизнеса: финансовый порог выхода на рынок для новичков значительно снижается за счет возможности получения производственных мощностей в нужном объеме на временной основе. Кроме того, появляется доступ к производительным, надежным технологиям, легко масштабируемым и быстро развертываемым.

Промышленные гиганты, предоставив простаивающее и не приносящее прибыли оборудование в распоряжение облака, обеспечивают практически постоянную загрузку своих активов и уникальных установок.

Централизованная система управления промышленным облаком, взаимодействие с промышленными гигантами позволят достигать пиковой производительности, внедрять и отрабатывать при производстве новейшие технологии в кратчайшие сроки и наиболее эффективным образом.

Однако, несмотря на перспективы такого производства имеется ряд проблем:

- для полномасштабного функционирования ПОТ производства необходимо включить в интернет пространство весь производственный цикл, от склада заготовок до склада готовой продукции. Он должен быть автоматизирован на 100%;
- провайдер в облаке должен уметь разрабатывать, симулировать и моделировать заказные схемы проектов на каждом этапе их осуществления, начиная с технического задания, заканчивая отгрузкой готовой продукции. Это обусловлено тем, что заказчики облачного производства не имеют доступа к детальным сведениям о производственной системе. Кроме того, они могут просто не обладать специальными знаниями в той или иной области технологий;
- необходимо разработать и внедрить систему межотраслевых и международных стандартов касательно каждого аспекта производственной системы нового типа - от стандартов управления предприятием до языка обмена данными и типовых процедур взаимодействия между узлами облака.

Известны несколько практических проектов, в рамках которых создаются действующие прототипы облачных производственных систем CMfg (Пекинский университет), CBDM (Институт технологий штата Джорджия, США), ManuCloud (Австрия, Германия, Венгрия и Великобритания), GetCM (Пекинский институт технологий, Китай).

Концепция промышленного производства демонстрирует громадный потенциал возможностей, раскрывающихся в интеграции информационных технологий в промышленности новой технологической революции. В этой перспективе она создаст синергию классической промышленности и высоких ИТ технологий.

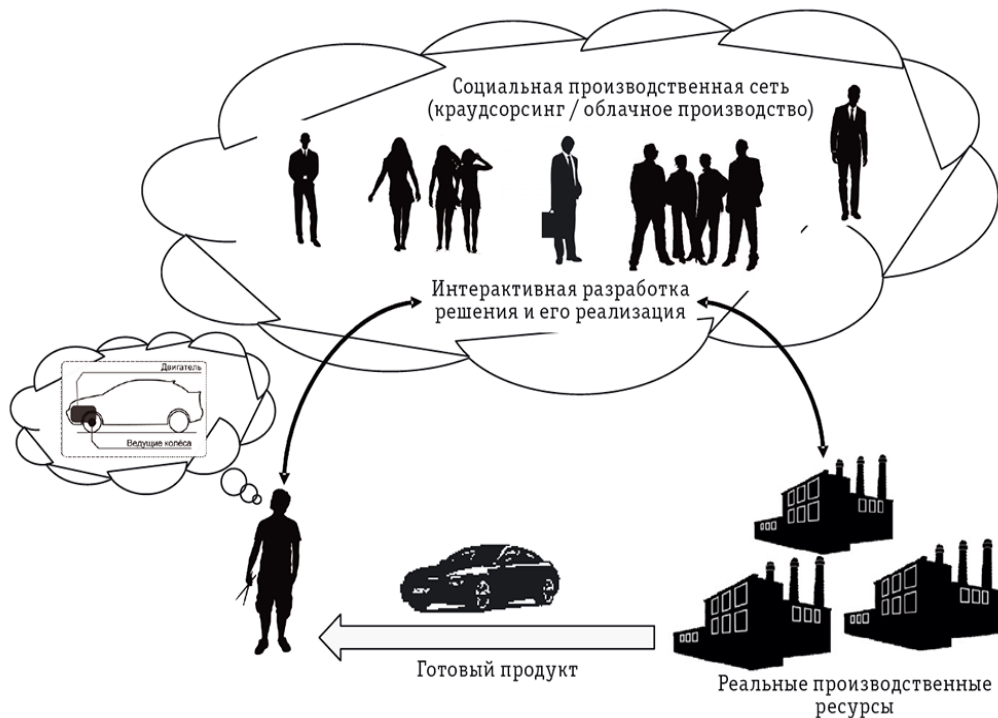


Рис. 8.6. IIOT- модель социального производства

С переходом к IIOT- производству человечество получает новые возможности в развитии ресурсно-ориентированной экономики, возможность более рационального распределения производственных мощностей и трудовых ресурсов в планетарном масштабе. Все активы производства становятся товаром, легко выделяемым и эксплуатируемым. Все участники такого производства смогут внести свой вклад в процессы разработки, производства, сборки, испытаний, доставки продукции производства, что позволит создавать с небольшими затратами продукцию с высокой степенью персонализации. Модель социального производства представлена на рисунке 8.6.

На этом рисунке показан один из возможных сценариев организации социального производства. Заказчик, у которого возникла идея концептуального продукта, публикует ее для обсуждения с провайдером облака. Если идея может быть реализована облачными средствами, то запускается интерактивный процесс выбора наиболее подходящего способа ее реализации с привлечением реальных ресурсов под управлением платформы облачного производства. Такая самоорганизация производства на основе сетевых платформ ведет к снижению ее стоимости.

Появление сетевых платформ, поддерживающих самоорганизацию потребителей при обмене активами, а в перспективе – социальных производственных сетей, станет эффективным механизмом удешевления традиционных производств и может существенным образом изменить существующие формы организации мировой экономики.

Так для выполнения рутинных цеховых операций в рамках новой технологической революции применяют дополненную реальность (Augmented Reality, AR). Пионером такой технологии является компания AGCO (США) – глобальный производитель сельскохозяйственной техники. В рамках AR рабочие,



занятые на участках сборки, сканируют при помощи телекамеры дополненной реальности серийные номера на частях сборочных единиц, с которыми они работают. В результате перед их глазами возникают руководства по их эксплуатации, фотографии или видео этих сборочных единиц. После окончания работ, нажав на дужку очков или произнеся «OK Glass», рабочие оставляют голосовыми заметками рекомендации и инструкции сборщикам следующей смены. Преимущества дополненной (AR) и смешанной (MR) реальности очевидны: рабочие получают необходимую для сборки информацию – описание и расположение деталей для сборки. Голосовое управление упрощает взаимодействие работников цеха и авторский надзор конструкторской службы. Очки освобождают руки для сборочных операций. Камера в очках используется как сканер штрих-кодов, заменяя ручные сканеры и обеспечивая эффективность взаимодействия с MES управлением цехового производства.

Важнейшей составляющей технологии Industry 4 является использование слабоструктурированных больших объемов данных (Big Data). Интеллектуальные устройства промышленного интернета вещей поставляют менеджменту в реальном времени различную производственную информацию беспрецедентную по объему и многообразию. Такие данные необходимы при классическом производстве, но их значимость многократно возрастает, когда они сочетаются с другими данными, например, с информацией об истории обслуживания, нахождения поставщиков, ценах на комплектацию и схемах движения транспорта и другие.

Совместное использование этих данных значительно повышает эффективность аналитики, что ведет непосредственно к значительно более высоким уровням автоматизации – как процессов, так и, в конечном счете, решений. Умение извлекать информацию из большого объема, иногда слабо структурированных данных, становится залогом производственного преимущества.

Выявляя закономерности в большом потоке данных, поступающих с многих источников информации, цеховой менеджмент может сделать настоящие открытия по производству. Сведения с датчиков, фиксирующих, например, температуру привода насоса, положение дроссельной заслонки и расход энергии, могут объяснить необходимость технического обслуживания.

В сущности, применение больших данных подразумевает все математические направления обработки больших объемов разрозненной информации, постоянно обновляемой и разбросанной по разным источникам. Цель такой обработки проста – повышение эффективности производства.

Технология Big Data направлена на решение следующих задач:

1. Ввод и хранение получаемой информации о производстве для практического применения.
2. Формирование классических баз данных и структурирование разрозненного информационного контента: чертежей, текстов, фотографий, видео, аудио и всех иных видов данных.
3. Анализ данных, создание различных аналитических отчетов с использованием различных способов обработки как структурированной, так и неструктурированной информации.

Проблема неоднородности и не структурированности возникает по причине разрозненности источников информации, ее форматов и качества. Данные, измерения, выполняемые «умным» оборудованием, а также сопутствующие производству технические данные, информация из бизнес-процессов может

поступать в различном формате: например, показания КИПиА, эксплуатационная документация, история технического обслуживания и другие (рис. 8.7). Чтобы объединить все эти данные и эффективно их обрабатывать, требуется не только работа по приведению их в пригодный для работы вид, но и различные аналитические, в частности статистические инструменты.

Традиционные электронные SQL таблицы баз данных тут могут быть недостаточными. Предприятию необходимы новые обучающие данные. Они используются для обучения алгоритмов обработки данных ИИ. Эти алгоритмы используются на производстве для получения прогнозов, которые обеспечивают экспертную поддержку лиц, принимающих решения.

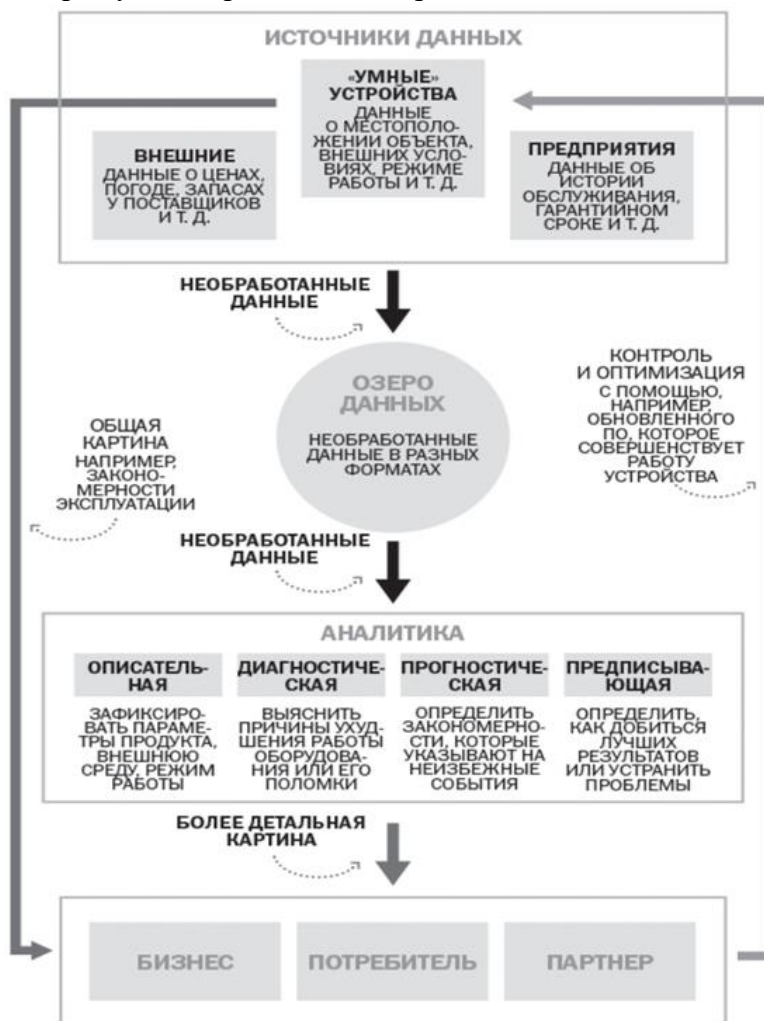


Рис.8.7 Структура обработки потоков информации с использованием технологии Big Data

Используя различные алгоритмы, обрабатывая данные, поступающие из различных источников умного производства, осуществляется необходимая оптимизация его работы.

На уровне четвертой промышленной революции применение перечисленных выше основных технологий повысит конкурентоспособность предприятия, позволит исключить понятие «человеческий фактор» из производственного цикла.

Развитием умных фабрик является цифровизация городских инфраструктур. Примером такой цифровизации является умный город [45].

«Умный город» – концепция интеграции городских активов, быстро развиваемых информационных и коммуникационных технологий и Интернета вещей (IoT решений) для управления городским имуществом. Активы города включают, в частности, местные центры информационных систем, инфраструктуру школ, библиотек, транспорт, больницы, электростанции, системы водоснабжения и управления отходами, правоохранительные органы и различные общественные службы [42].

Целью создания «умного города» является повышение эффективности обслуживания и удовлетворения нужд людей, улучшение качества их жизни с помощью информационных технологий. ИКТ позволяют городской власти напрямую взаимодействовать с горожанами и городской инфраструктурой, следить за тем, что происходит в городе, как город развивается, и какие способы позволяют улучшить качество жизни. За счет использования сенсорных сетей накопленные данные от городских жителей и устройств инфраструктуры города обрабатываются и анализируются практически в реальном времени.

ИКТ используются для повышения качества, производительности и интерактивности городских служб, снижения расходов и потребления ресурсов, улучшения связи между городскими жителями и государством. Применение технологии «умного города» развивается с целью улучшения управления городскими потоками и быстрой реакции на сложные задачи.

Разработкой стандартов «умных городов» занимается Национальный центр информатизации. В рамках концепции «умного города» ожидаются следующие общенациональные стандарты:

- ГОСТ «Умный город. Эталонная структура ИКТ. Часть 1. Структура бизнес-процессов Умного города» (гармонизация с ИСО/МЭК 30145–1);
- ГОСТ «Умный город. Эталонная структура ИКТ. Часть 2. Структура управления знаниями Умного города» (гармонизация с ИСО/МЭК 30145–2);
- ГОСТ «Умный город. Эталонная структура ИКТ. Часть 3. Инженерные системы Умного города» (гармонизация с ИСО/МЭК 30145–3);
- ГОСТ «Умный город. Показатели ИКТ» (гармонизация с ИСО/МЭК 30146).

В последнее годы в городах интенсивно создаются информационные системы для автоматизации отдельных сфер жизни: безопасности городской среды, транспорта, энергетики и ЖКХ, здравоохранения, образования, государственного и муниципального управления (рис. 8.8).

Концепция умного города характеризуется тремя базовыми параметрами:

- технологичность;
- интеллектуализация;
- фокусировка на стиле жизни.

«Умный город» должен быть экологичным, безопасным, энергоемким, открывающим широкие возможности и обеспечивающим максимально комфортную жизнедеятельность.



Рис. 8.8. Умные службы многого города

В рамках концепции интернета вещей, фундаментальным принципом «умного города» является внедрение информационных технологий и объектов IoT в городскую среду, что позволит усовершенствовать систему управления и взаимодействия государства с обществом, повысить качество и эффективность работы городских служб и качественно изменить жизнь населения.

«Умные измерения» в городах (*Smart Metering*) – технология интеллектуальных измерений расхода энергоресурсов в городской инфраструктуре (электричество, газ, вода, тепло), которая кроме измерений, выполняемых самонастраивающимися приборами учета, подразумевает создание и развитие информационных беспроводных сетей передачи данных. Телекоммуникационная среда таких сетей органично вписывается в концепцию межмашинного взаимодействия. По оценкам экспертов, технология *Smart Metering* позволит снизить требуемый объем новых энерго мощностей на десятки процентов. За счет интеллектуализации эксплуатационных и технологических операций умными приборами измерений можно будет подключить к уже имеющимся мощностям больше потребителей, снизить технические потери, уменьшить потери из-за задолженностей потребителей.

«Умные энергосети» (*Smart Grid*) – внедрение и развитие транспортировки и потребления энергоресурсов в умном городе. Принципы *Smart Grid* могут быть распространены как на энергосети, так и на сети тепло-, газо- и водоснабжения, водоотведения и канализации умных зданий и умных домов. Интеллектуальная энергосистема в реальном времени выполняет мониторинг и управляет энергосетями, а также реализует коммуникации между потребителями и поставщиками энергоресурсов. Телекоммуникации M2M и IoT соединяют электроавтомобили, домашние аккумуляторы, солнечные панели, термостаты и приборы бытовой электроники с умной энергосетью. Постоянный мониторинг энергопотребления в режиме реального времени позволяет не только поставлять потребителям, но и при необходимости перенаправить поток энергии в обратном направлении, от потребителя в электросеть. Умные энергосети позволяют оптимизировать подачу и потребление энергии и упрощают процесс обслуживания потребителей.

«Умный дом» (*Smart Home*) – одно из самых быстро развивающихся решений интернет технологий для умного города. Эта концепция позволяет жителям получить доступ к удаленному интегрированному управлению системами жизнеобеспечения дома или квартиры и к бытовой электронике [46]. Умное управление домом позволяет

координировать работу систем отопления и вентиляции, охранной и противопожарной сигнализации, видеонаблюдения, связи и телефона, освещения, электроснабжения и т.д. Используя телекоммуникационные технологии M2M и IoT, собственник может контролировать ситуацию в помещениях дома как дистанционно, что предотвращает или существенно снижает риск возникновения аварий, связанных с утечкой воды или газа, включенными в сеть электроприборами, так и внутри дома.

Главным преимуществом умного дома является возможность снизить расходы на электроэнергию и отопление. Система управления умным домом с помощью датчиков, приборов учета и бытовых приборов, включенных в единую сеть IoT, автоматически поддерживает оптимальный режим расхода энергии и тепла в помещениях дома, автоматически включает освещение, открывает окна, выбирает подходящий режим включения электроприборов, исходя из времени суток и действующих тарифов.

*«Умное жилищно-коммунальное хозяйство»* – новая интернет технология, которая позволяет помочь в реформировании очень важной для города отрасли – жилищно-коммунального сектора. В последние годы в основном разработана нормативно-правовая база, определяющая правила ведения бизнеса в области сбыта и потребления энергоресурсов ЖКХ на основе их фактического потребления. Однако традиционные провайдеры жилищных и коммунальных услуг (управляющие компании, ТСЖ, расчетно-сервисные центры, поставщики энергоресурсов) оказались не в состоянии обеспечить комплексное решение задачи массового автоматического дистанционного сбора и передачи информации от многочисленных индивидуальных и общедомовых приборов учета. Для решения этих задач в сфере городских ЖКХ появились сервис-провайдеры, операторы информационных сетей и систем, которые предоставляют инфраструктурную поддержку с использованием технологий интернета вещей.

*«Умное жилищно-коммунальное хозяйство»* устанавливает качественно новые требования к автоматизированным и информационным системам в городском хозяйстве. Сам по себе датчик или сенсор является, по сути, только измерителем с возможностью передачи собранной информации. Проблема в том, что эти измерения необходимо безошибочно передать управляющей компании и содержательно интерпретировать. Вот почему массовое внедрение умных приборов учета инициирует появление интернет-сетей с расширенными возможностями сбора, передачи, обработки информации, обеспечением информационной безопасности, биллинга и аналитики собираемых данных. Таким образом, функционально аппаратно-программный комплекс *«Умное жилищно-коммунальное хозяйство»* охватывает практически весь спектр задач, которые характерны для ЖКХ, а использование технологий интернета вещей позволяет системе решать эти задачи комплексно, оперативно и качественно. В результате в отрасли ЖКХ быстро развивается IoT, который обеспечивает полный жизненный цикл информации – от первоначальной регистрации изменения определенного параметра до его содержательной интерпретации и принятия решения по управлению прибором, объектом или отраслью ЖКХ в целом.

*«Умная безопасность города»* является ключевым фактором, определяющим качество жизни жителей города. Умные сенсорные технологии промышленной безопасности способны определить случаи протечек трубопроводов, выделения токсичных веществ, предотвратить аварийные ситуации и даже осуществляют мониторинг утомляемости сотрудников.

Машинный анализ в МЧС, при наличии достаточной информации, помогает сфокусировать внимание на зданиях с самыми высокими потенциальными рисками (супермаркеты, центры отдыха, театры и центры развлечений). Такой подход помогает обеспечить безопасность, экономит время, деньги и нервы.

Новые информационные технологии борьбы с преступностью дают власти инструмент для более эффективного реагирования на угрозы личной безопасности жителей города и одновременно помогут контролировать действия служащих силовых структур, структур, отвечающих за безопасность транспортного движения. Дорожная безопасность обеспечивается системой камер, как уличных (ССТV), так и носимых на теле. Носимые камеры используют служащие правопорядка, чтобы записывать происшествия и полицейские операции. Камеры слежения на дорогах фиксируют нарушения правил, а «умное наблюдение» обеспечивает интеллектуальный мониторинг, позволяющий обнаружить преступника, распознать его лицо.

«Умное здравоохранение» позволит улучшить здравоохранение в городе за счет использования приложений, которые помогут дистанционно консультировать, предотвращать ухудшения и отслеживать состояние здоровья пациентов. Системы удаленного мониторинга, по прогнозу аналитиков, смогут уменьшить нагрузку на поликлиники и снизить ежегодную смертность от хронических заболеваний за счет системы раннего оповещения и более быстрой госпитализации.

Города, органично развиваются на протяжении веков, население растёт, увеличивается количество автомобилей и старые агломерации перестают отвечать требованиям. Проекты по перестройке дорожного движения стоят дорого, к тому же, жители, привыкшие к существующим условиям, неохотно поддерживают изменения дорог рядом с их домом.

Используя функции безопасности в качестве отправной точки, сегодняшние системы камер видеонаблюдения можно сделать основой будущих сенсорных сетей видеонаблюдения (ССТV). Сетевые системы видеонаблюдения вместе с машинным анализом данных способны в режиме реального времени отслеживать полную картину дорожного движения в городе, регулировать работу светофоров и регулировать трафик движения транспорта. Развитие интеллектуальности таких систем позволит в будущем сформировать интеллектуальную транспортную систему, которая позволит оперативно реагировать на все происшествия, а машины с автопилотом полностью заменят общественный транспорт на беспилотный.

«Умное здание» – автоматизированное городское строение, в котором все инженерные системы здания объединены в единую систему жизнеобеспечения людей, находящихся в нем. Системы автоматизации зданий оптимизируют использование энергии и воды в коммерческих и общественных строениях за счёт использования программно-аппаратных средств контроля и аналитики для ручного или автоматического устранения возникающих опасностей. Примером таких зданий могут быть театры, магазины, школы, больницы. В умных зданиях осуществляется оптимизация освещения и кондиционирования, а также контроль безопасности и информация о парковке. Управление работой инженерных систем здания осуществляется через единый диспетчерский центр.

Новые информационные технологии меняют природу экономики города. «Умный город» собирает с использованием интернет среды большие объемы данных, а цифровые технологии повышают качество жизни его жителей. Получение

информации в реальном времени и машинный анализ позволяет оперативно реагировать на любые проблемы, запросы и принимать правильные решения.

## РАЗДЕЛ 9. СЕНСОРНЫЕ СЕТИ

Практическое использование беспроводных датчиков с автономным электропитанием долгое время сдерживалось низкой надежностью радиоканала по сравнению с проводным соединением, высокой стоимостью и трудностями обслуживания их энергоисточников. В настоящее время развитие элементной базы, миниатюризация интегральных микросхем и появление новых технологий передачи информации позволило применять во многих сферах жизнедеятельности человека беспроводные датчики и основанные на них системы сбора данных и мониторинга [47-49].

Основными компонентами автономного сенсора беспроводной сенсорной сети (WSN wireless sensor network) являются: приемопередатчик, микроконтроллер, внешняя память, источник питания, датчики и антенна.

Контроллер выполняет задачи, обрабатывает данные и управляет функциональностью других компонентов в узле датчика. Из-за низкой цены, гибкости при соединении с другими приборами, легкости программирования, и потребления низкой мощности наиболее распространенным процессорным модулем автономных датчиков является микроконтроллер. Однако используются и другие альтернативы, в частности, цифровые сигнальные процессоры: Field programmable gate array (FPGA) and Application Specific Integrated Circuit (ASIC).

Микропроцессор общего назначения обычно имеет более высокую потребляемую мощность, чем микроконтроллер, поэтому он не считается подходящим выбором для узла датчика. Цифровые сигнальные процессоры могут быть выбраны для широкополосной беспроводной связи, но в беспроводных сенсорных сетях их применение ограничено.

Производители автономных датчиков стараются использовать в сенсорных узлах не лицензируемые частоты для передачи данных. Возможными вариантами беспроводной передачи могут быть медиа радиочастоты (РЧ), оптические (лазерные) и инфракрасные приемопередатчики. Лазеры при передаче данных требуют небольших затрат энергии, однако при их использовании необходима прямая видимость для связи, датчики чувствительны к погодным условиям. Инфракрасные приемопередатчики, как и лазеры, не нуждаются в антенне, но имеют ограничение в мощности передачи. Радиочастотная связь является наиболее подходящей для большинства приложений WSN. В мире используются разные радиочастоты, в большинстве стран частоты не лицензированы и используются легально (433 МГц, 868 МГц (Европа), 915 МГц (США)).

WSNs, как правило, используют лицензии-свободные полосы частот: 173, 433, 868 и 915 МГц и 2.4 ГГц [54]. Современное поколение трансиверов имеют встроенные системы контроля состояния, которые выполняют эти операции автоматически. Большинство трансиверов, работающих в режиме ожидания, имеют энергопотребление, почти равное энергии, потребляемой в режиме приема. Таким образом для экономии энергопотребления рекомендуют полностью выключить трансивер, а не оставлять его в режиме ожидания. Однако при переключении из спящего режима в режим передачи для передачи пакета потребляется значительное количество энергии. Поэтому при выборе режима ожидания необходимо обеспечивать баланс энергопотребления датчика. Шлюзы достаточно финансово затратные (примерно € 300), даже если их самостоятельно делать.



Тем не менее, ряд приложений ИОТ ориентируются на технологию LoRaWAN, которая позволяет умным сущностям передавать данные в интернет и обеспечивает связь на больших дистанциях (~5 до 15 км.). Это технология связи обладает низким потреблением энергии, что позволяет эксплуатировать датчики от месяцев до «нескольких лет на одной батарее», но за это приходится платить низкой пропускной способностью соединения – всего 51 байт на сообщение. Этого достаточно для передачи данных метеостанций или счетчиков воды и поэтому сеть LoRaWAN перспективна для проектов «Умный город».

*Внешняя память.* С энергетической точки зрения, наиболее актуальной памятью является память микроконтроллера или флэш-память.

Флэш-память используется из-за их низкой стоимости и большой емкости хранения. В сенсорных устройствах память используется для хранения данных по применению сенсора, и для программирования КИПиА.

*Автономный источник питания* датчика является базовым решением, когда трудно или невозможно подвести сетевое питание к узлу датчика. Энергия источника хранится или в аккумуляторах, или в конденсаторах. Находят применение как аккумуляторы перезаряжаемые, так и не перезаряжаемые. Энергия источника питания может быть в пределах 0,5-2 ампер-часа и 1,2-3,7 вольта. Датчик потребляет в основном энергию для считывания и передачи данных. Существенной проблемой применения таких источников энергии для датчиков в промышленности является труднодоступность их места установки. Регулярная замена батареи в этом случае может стать дорогостоящей и неудобной. Поэтому важным является, чтобы замена источника энергии была доступной.

Вместе с уменьшением размеров устройств уменьшается доступное пространство для электроники и батареи и это уменьшает автономность работы датчика.

Кроме того, необходимо учитывать проблему саморазряда аккумулятора в спящий период датчика. Есть несколько способов, чтобы датчик всегда был готов к работе. Для этого используются перезаряжаемые батареи. Эти источники энергии используют подзарядку с использованием других видов энергии. Перезарядка через зарядное устройство альтернативными источниками энергии может выполняться с использованием фотоэлектрической ячейки, пьезоэлектрическим, вибромеханическим генератором. В некоторых случаях один или несколько альтернативных источников питания могут использоваться одновременно. Перспективным решением является технология подзарядки, сочетающая в себе фотоэлектрическую ячейку и пьезоэлектрическую или электромагнитную вибрационную ячейку подзарядки. Генераторы, использующие разные по физической сути источники энергии, могут быть взаимодополняющими, например, один работает, когда второй не доступен. В общем случае можно использовать один или несколько источников питания одновременно. Таким образом, в сенсорном устройстве энергия окружающей среды преобразуется в подзарядку исходного аккумулятора что может значительно увеличивать срок службы.

Обычно батареи используются для обеспечения достаточной мощности для датчика. Понижение напряжения питания сужает динамический диапазон и уменьшает усиление, другими словами, приводит к снижению шумового порога, меньшей точности и большим временам переключения (за счет повышения паразитных емкостей) и, следовательно, к сужению полосы пропускания,

увеличению занимаемого схемой места и увеличению тепловых шумов, что ведет к дальнейшему сужению динамического диапазона и снижению точности.

В качестве датчиков используются беспроводные сенсорные узлы для сбора данных об окружающей среде. Датчики измеряют физические данные контролируемого параметра и имеют специфические характеристики: такие как точность, чувствительность.

Непрерывный аналоговый сигнал производится с помощью датчиков, оцифровывается с помощью аналого-цифрового преобразователя и отправляется в контроллер для дальнейшей обработки. Некоторые датчики содержат необходимую электронику для того, чтобы преобразовать исходные сигналы в сигналы, которые можно восстановить через цифровое соединение (например, I2C, SPI). Большинство узлов датчика небольшие в размере, и потребляют мало энергии. Производители сенсоров стараются выполнять конструкции высоких объемных плотностей. Датчики автономны и приспособлены к работе в окружающей среде.

Датчики классифицируются на *активные и пассивные*. Пассивный датчик при измерении контролируемого параметра не нуждается в дополнительном источнике энергии. Примерами пассивных датчиков являются термопары, фотодиоды и пьезоэлектрические чувствительные элементы. Большинство пассивных датчиков являются устройствами прямого действия.

В отличие от пассивного, активному датчику требуется внешняя энергия. Поскольку такие датчики меняют свои характеристики в ответ на изменение внешних сигналов, их иногда называют *параметрическими*.

Большинство прикладных приложений WSNs предполагает использование пассивных, всенаправленных датчиков. Каждый узел датчика имеет некоторую зону покрытия, для которой может надежно и точно сообщить определенное количество, которое он наблюдает. Пространственная плотность узлов датчиков в поле может достигать 20 узлов на кубический метр.

Отличительной особенностью применения автономных датчиков является контроль событийной информации. Событийные алгоритмы требуют управлений с высокой степенью параллельности выполнения задач в ограниченном пространстве памяти.

Для решения этих задач некоторые поставщики на сенсорное устройство устанавливают специализированную операционную систему. В настоящее время в беспроводных сенсорных сетях находят применение TinyOS. Эта ОС относится к программному обеспечению с открытым кодом. TinyOS – это управляемая событиями операционная система реального времени, рассчитанная на работу в условиях ограниченных вычислительных ресурсов. Она позволяет сенсорным устройствам автоматически устанавливать связи с рядом расположенными устройствами и тем самым формировать сенсорную среду заданной топологии. TinyOS обладает базовыми признаками развитой ОС. Специфической особенностью ее применения является обеспечение развитых и надежных механизмов параллельного выполнения задач в условиях крайне ограниченных ресурсов.

TinyOS состоит из набора компонентов (каждый размером примерно 200 байт), из которых разработчики собирают ПО для каждого конкретного сенсора. ОС решает сложные задачи реконфигурации сети, вызванные изменением маршрута, по которому пересылаются пакеты. Это особенно важно для сенсоров, чья работа зависит от внешней среды. Например, для датчиков, которые работают от солнечных батарей или иных источников энергии, зависящих от погоды.

Реконфигурация сенсорной сети с использованием этой ОС получается автоматически, благодаря тому, что все сенсоры следуют простым правилам, заложенным в TinyOS. Правила эти, в частности, определяют способ поиска кратчайшего пути до ближайшего узла сенсорной сети, и уже в зависимости от того, где и как расположены сенсоры, сеть конфигурируется в новую древообразную форму.

*Сенсорные сети «умная пыль».* В конце XX века К. Пистером (Kristofer Pister), профессором электромеханики из калифорнийского университета Беркли, США была сформулирована концепция Smart dust. «Умная пыль» – система, состоящая из произвольного конечного множества электромеханических датчиков-пылинок или мотов (mote), способных обмениваться информацией в произвольной пространственной конфигурации. Воплощение этой концепции на практике привело в дальнейшем к появлению беспроводных сенсорных сетей (БСС), которые сейчас называют просто сенсорными сетями [50].

В основе создания Smart Dust лежит несколько концепции: микро электромеханические системы (MEMS - Micro-Electro-Mechanical Systems), системы радиочастотной идентификации, «Интернета вещей», ПОТ и беспроводные вычислительные сети.

*MEMS* – интеграция механических элементов, датчиков, приводов и электроники на общей кремниевой подложке через технологию микрообработки. Сейчас MEMS измеряются в мм., подобно компьютерным чипам. Датчик-пылинка обладает собственными сенсорами, вычислительным узлом, подсистемами коммуникации и энергоснабжения. Предполагается, что базовые элементы «умной пыли» – моты в будущем будут размером с частицу песка или даже пыли.

Ожидается что производительность и цена MEMS-устройств будут превосходить компоненты и системы макромасштабов. К. Пистер в своих работах писал, что стоимость MEMS-устройств должна быть порядка 0,1 \$ за узел, а энергопотребление от 10 нДж/бит. Однако в настоящее время эти показатели пока не достигнуты.

Основным ограничением в конструкции мотов Smart Dust является требование маленького объема их конструкции, что, в свою очередь, сильно ограничивает их энергетику, поскольку остается мало места для батарей или солнечных элементов.

Группируясь вместе, моты автоматически могут создавать очень гибкие сети с малым потреблением питания. Преимущество такой технологии построения сетей сенсоров: небольшие размеры и тысячи или даже миллионы элементов системы могут изготавливаться одновременно. Это позволяет мотам быть как сложными устройствами, так и очень дешевыми. Механические, термические, биологические, химические, оптические и магнитные микродатчики собирают информацию из окружающей среды посредством измерений параметров явлений. Затем электроника обрабатывает информацию, полученную от датчиков и с помощью некоторой возможности принятия решений моты могут включать исполнительные механизмы перемещения, позиционирования, регулирования, фильтрации. Тем самым контролируется окружающая среда для какой-либо цели и осуществляется управление ее состоянием.

Устройство Smart Dust запускается микроконтроллером (наноконтроллером), который не только определяет задачи, выполняемые устройством, но также контролирует мощность потребления различных компонентов мотов с целью экономии энергии. Периодически микроконтроллер выполняет считывание с одного

из датчиков, который измеряет один из ряда физических или химических параметров, таких как температура, окружающая среда света, вибрации, ускорения или давления воздуха, обрабатывает данные и сохраняет это в памяти.

При применении оптической коммуникационной среды устройство Smart Dust излучает оптический сигнал ближайшему узлу среды передачи данных. Он также иногда включает оптический приемник для того, чтобы увидеть другой узел (узлы), который (которые) пытается (пытаются) с ним общаться посредством какого-либо сообщения. Сообщение может включать новые программы или сообщения из других мотов. В ответ на это сообщение или по своей собственной инициативе микроконтроллер использует угловой куб ретро отражателя или лазера для передачи данных датчика или сообщения на базовую станцию или другой мот.

Smart Dust моты относятся к самоорганизующимся крошечным устройствам, которые обмениваются беспроводными сигналами и работают как единая система. Каждый мот обладает собственными сенсорами, вычислительным узлом, подсистемами коммуникации и энергоснабжения. Группируясь вместе, моты автоматически создают очень гибкие сети с малым потреблением питания. Области их применения могут варьироваться от систем управления климатом до устройств промышленного назначения нефтегазовых производств, взаимодействующих с другими информационными устройствами.

Smart Dustnet собирает данные из тысяч датчиков одновременно, используя для работы и приема/передачи информации по линиям связи как активную, так и пассивную, волоконно-оптическую технику связи. Основные преимущества использования Smart Dustnet для промышленности [51]:

- повышение безопасности, эффективности и соответствия установленным требованиям;
- снижение затрат на систему и инфраструктуру;
- повышение производительности.

Smart Dustnet:

- автоматизирует многие ручные задачи, которые включают в себя как калибровку, так и мониторинг;
- предоставляет точные данные о состоянии приводов активов различной мощности;
- обеспечивает более своевременное обслуживание.

Для передачи больших объемов информации на короткие расстояния между мотами используется высокочастотная технология передачи.

*Применение радиочастотных методов* для Smart Dust ограничивается из-за следующих недостатков:

- размеры мотов имеют очень ограниченное пространство для антенн (т.к. для передачи требуется чрезвычайно короткая длина волны (высокочастотная передача), то энергозатратность такой передачи требует использования сравнительно больших по размерам источников энергии);
- короткая длина волны видимого или ближнего инфракрасного света (порядка 1 микрон) устанавливает устройству миллиметрового масштаба конструкции необходимость излучать узкий луч, что ведет к трудностям взаимного позиционирования источников и приемников.

Радиоприемники мотов – сложные схемы и у которых снизить потребление энергии до требуемых микроволновых уровней трудно. Радиопередача требует

модуляции, фильтрации полос частот и демодуляции, что ведет к усложнению MEMS.

*Применение оптики для передачи информации* в сетевом пространстве Smart Dust оказывается также является перспективным [52].

Используя оптические средства передачи (обратный отражатель углового куба, или лазерный диод, в зависимости от конструкции мота) лазерный диод (лазер датчика) посылает сигналы на базовую станцию, включая или выключая фоторефлектор углового оптического куба и путем дискретного перемещения зеркала передает информацию. Такой способ передачи информации отличается высокой энергоэффективностью по сравнению с радиоизлучением.

Другим оптическим средством передачи информации на расстояниях прямой видимости являются устройства *оптической пространственной (не волоконной) связи*, которые работают в видимом и ближнем ИК-диапазонах излучения. В таких устройствах применение полупроводниковых лазерных источников, снабженных коллиматорной оптикой, позволяет добиться узконаправленности потока излучения и тем самым снизить требования к мощности выходного сигнала передатчика.

Исследования показали, что тогда, когда имеется линия видимости между мотами, требуется значительно меньшей энергии для передачи бита, чем в технологии RFID. Еще одним достоинством коротковолновых приемопередатчиков является следующее обстоятельство. Применение компактных приемников изображений обеспечивает возможность декодирования одновременных передач от большого количества мотов из различных местоположений, находящихся в поле зрения его приемника, что является формой мультиплексирования сигналов с пространственным разделением.

Еще одним достоинством является то, что полупроводниковые лазеры и диодные приемники по своей природе являются небольшими по размерам, и соответствующие схемы передачи и обнаружения для включения/выключения оптической связи менее энергозатратны, чем большинство радиосхем. С помощью лазерного диода и набора зеркал сканирующего луча можно передавать данные в любом желаемом направлении, позволяя MEMS-устройствам общаться с другими мотами.

Конструкция типового датчика класса «Умная пыль» представлена на рисунке 9.1. Выполненные на отдельных кристаллах кремния сенсорное устройство, АЦП и процессор объединены с запоминающим устройством. По вычислительным возможностям процессорная часть, как считают его разработчики, в перспективе будет соответствовать процессору «Intel 8086». Вторичный источник питания смонтирован на аккумуляторе, изготовленном в виде бескорпусной толстопленочной структуры. Устройства внешней связи представлены блоками фотоприемника, лазерного передатчика и уголкового отражателя.

В состав блока лазерного передатчика входит полупроводниковый лазер, коллиматорная линза Френеля и зеркало. Зеркало размещено на отклоняющем устройстве, посредством которого излучение передатчика может распространяться в любом направлении передачи данных.

Передача информации от датчика на центральную станцию осуществляется в активном или пассивном режимах.

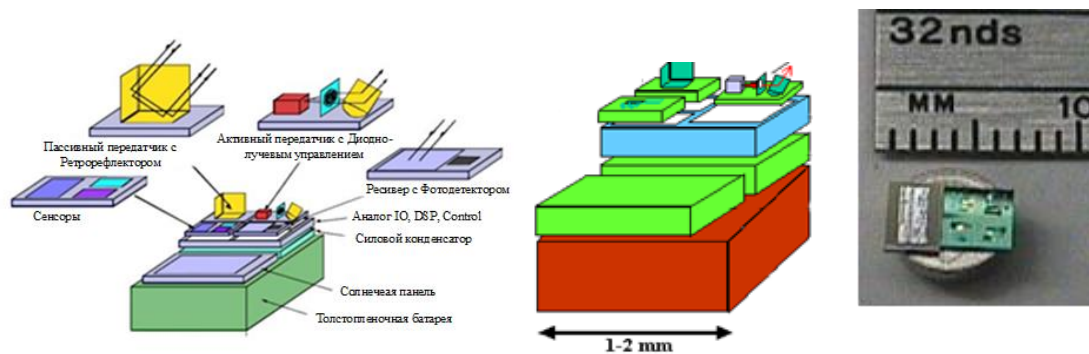


Рис. 9.1. Конструкция «Умная пылинка»

Центральная станция может осуществлять одновременную многоканальную связь с группой датчиков. В этом случае в ее составе используется фотоприемник матричного типа. Излучение лазера этой станции, таким образом, охватывает район, где находятся все датчики.

Передача информации выполняется оптическими средствами. Интеграция всех этих функций выполняется с условием сверхнизкого потребления энергии, и, следовательно, с возможностью максимального продления срока службы при ограниченном объеме, предназначенном для хранения энергии. Полный потенциал Smart Dustnet достигается посредством одновременного взаимодействия как друг с другом, так и с центральной базовой станцией.

Озвученный в 1998 г. проект «Умной пыли» активизировал MEMS-направление развития автономных сенсоров у таких поставщиков систем промышленной автоматизации как: Emerson, Schneider Electric, Yokogawa, General Electric. Технологию Dust Networks взяли на вооружение такие гиганты бизнеса, как Shell Oil, British Petroleum, PPG Industries, K-V Pharmaceutical, пивная корпорация Anheuser-Busch. Практически все публичные акционерные компании НГО анонсировали заинтересованность в подобных сенсорах.

В СМИ в последнее время опять возникла «шумиха» о перспективах применения Smart Dustnet. «Умные» микроскопические датчики, спроектированные учеными из Калифорнии, нашли применение в медицине. Выполненные работы показали возросший потенциал умной пыли.

Однако, несмотря на прогресс в применении в медицине «Умной пыли» пока не удалось добиться какого-либо прогресса в промышленности. Начиная с 2004 г., интерес к датчикам «Умная пыль» снижался. И в настоящее время, по-прежнему, существует скептицизм в перспективах этого направления развития сенсорных сетей. На самом деле, такая пылинка все еще в тысячу раз слишком большая для микромасштабных применений. Первые образцы «Умной пыли», созданные несколько лет назад корпорацией Intel, представляли собой микроплаты размером 3х3 см.

Если на первом этапе развития концепции «Умной пыли», производители сенсоров усиленно стремились к уменьшению их размеров, то опыт их внедрения показал, что миниатюризация не всегда приветствуется в промышленности. Беспроводная сенсорная сеть с низким энергопотреблением – недорогое решение для передачи и сбора данных в пространстве IoT. Благодаря сохранению и ограничению мощности, используемой удаленными устройствами, беспроводные сети низкой мощности открывают возможность для различных новых приложений в экосистеме IoT.

Отдельным направлением развития концепции «Умной пыли» является вопрос автономного энергоснабжения. Есть проекты питания сенсоров от солнечных батарей размером 10x10 см. Однако для сенсоров типа сенсорная пыль эти размеры, по-прежнему, слишком большие.

*Сенсорные сети по ГОСТ Р ИСО МЭК 29182.* В этом стандарте устанавливается, что беспроводная сенсорная сеть может быть сконфигурирована на некотором промышленном объекте, распределенном в пространстве [52]. Множество физических факторов, таких как: расстояние, количество стен и перекрытий, радиочастотный шум, влияют на дальность и качество связи. Использование недорогих сенсорных сетей Sensor network для контроля параметров открывает различные области для применения систем телеметрии и контроля:

- своевременное выявление возможных отказов исполнительных механизмов, по контролю таких параметров, как вибрация, температура, давление и т. п.;
- контроль доступа в режиме реального времени к удаленным системам объекта мониторинга;
- автоматизация инспекции и технического обслуживания промышленных активов.

Сенсорная сеть по стандарту может быть проводной, беспроводной или смешанной.

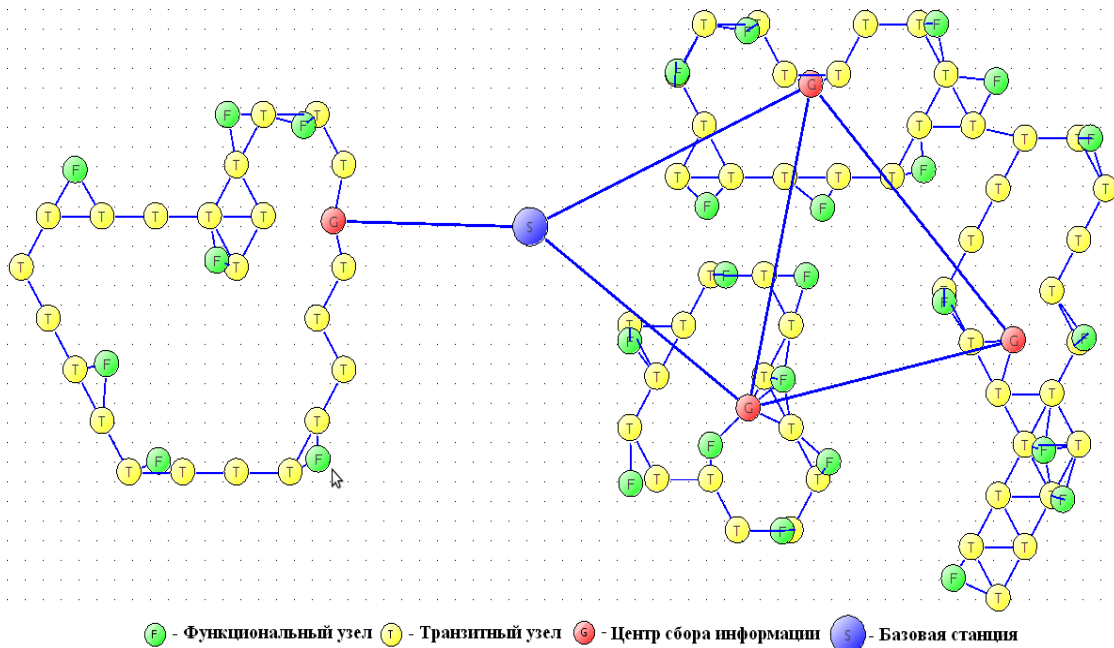
Стандарт устанавливает концептуальную основу формирования беспроводных сенсорных сетей WSN для промышленных применений класса IoT. В настоящее время при построении коммуникационной среды таких сетей чаще всего применяется стандарт *IEEE 802.15.4*, который определяет физический слой связи и устанавливает управление доступом к среде для беспроводных персональных сетей с невысоким уровнем скорости. Для построения WSN находят применение и другие стандарты (например, *IEEE 802.15.3*, *IEEE 802.15.4a*), а также специальные решения различных производителей.

На функциональном уровне выделяются следующие виды узлов WSN (рис.9.2):

- функциональные узлы (Ф-узлы), осуществляющие сбор информации или управление объектом в месте размещения данного узла;
- транзитные узлы (Т-узлы), выполняющие управление маршрутизацией и передачу информации с помощью ретрансляции, собранной Ф-узлами, в *центры сбора информации (ЦСИ)* для ее дальнейшего использования;
- центры сбора информации, осуществляющие управление WSN и обработку собранных WSN данных.

В общем случае WSN может иметь несколько ЦСИ, и информация, поступившая в каждый из них, может быть доступна для интернет пользователя при принятии решений и выполнения определенных действий.

Сенсорная сеть может быть организована как совокупность подсетей связанных ЦСИ, выполняющих роль шлюзов для корпоративного взаимодействия. Шлюзы в сравнении с датчиками менее энергозависимы, обладают более мощными радиопередатчиками, имеют значительные вычислительные возможности и поддерживают стандартные интерфейсы (Ethernet, GPRS, IEEE 802.11, USB).



*Рис. 9.2. Структура сенсорной сети, основанная на кластерах*

Сенсорные сети передают данные, осуществляют сбор и обработку, структурирование и управление сетью и ресурсами, автоматизацию управления в реальном времени.

*Основные характеристики:*

- проверка достоверности;
- минимизация энергопотребления;
- радиочастотная и оптическая коммуникация;
- совместная обработка данных;
- предоставление контекстной информации;
- обработка данных;
- очистка данных;
- прогнозирование;
- оказание услуг по индивидуальному требованию;
- самодиагностика.

Узлы датчиков сети WSN собирают данные о реальных объектах и предварительно обрабатывают их, например, осуществляют интеграцию данных или фильтрацию, и затем предоставляют информацию пользователю сенсорных сетей.

В некоторых применениях сенсорной сети узлы датчиков могут быть задействованы в решении сложных проблем таких, как обнаружение, классификация и отслеживание объектов в реальных условиях их эксплуатации. Примером могут служить несколько вибродатчиков, закрепленных на корпусе насоса, и контролирующих необходимость его ремонта. Данные от датчика могут быть предварительно обработаны и доработаны на узле считывающего или другого датчика. В зависимости от применения промежуточные данные, такие как характеристики или расчетные параметры, на ЦСИ (РАС контроллерах) могут быть извлечены из полученных данных в ходе предварительной обработки с



использованием пакетов обработки больших данных (Big Data), таких как ПО статистической обработки данных Orange.

Контроль энергоснабжения и управление имеют важное значение в сенсорных сетях, где узлы датчиков работают от батарей. Если сенсорная сеть построена на автономных датчиках, то из-за ограниченных запасов энергии, радиус действия ее ограничивается. Увеличить срок службы сети помогут технологии накопления энергии.

Энергоэффективность датчиков должна быть максимально высокой. Если сеть беспроводная, сенсорные устройства должны иметь автономные встроенные источники питания. Поэтому энергоемкость передачи/приема одного бита первичной информации должна быть минимальной. В идеальном случае при отсутствии первичного трафика энергопотребление автономных сенсоров должно быть равно нулю. Это означает, что служебный и ретрансляционный трафики в сети должны быть минимально возможными.

Существует множество способов снизить потребление энергии на узлах датчиков: применение процессоров с низкой мощностью, ограничение диапазона связи и пропускной способности каналов радиосвязи, ограничение емкости локальных хранилищ, использование энергоэффективных алгоритмов обработки данных и переключение датчиков в спящий режим по графику.

Сенсорная сеть должна быть масштабируемой. Необходимость масштабирования связана с изменением условий эксплуатации и развитием автоматизации объекта управления. Существует много параметров, с помощью которых можно масштабировать сенсорную сеть, изменяя, например, количество и плотность узлов, объем трафика данных, который необходимо передать и др.

*Функции и услуги, предоставляемые сенсорными сетями*, могут быть разнообразными, и тем самым поддерживать различные приложения, сегменты рынка и типы пользователей. Требования и ожидания пользователей услуг могут меняться в зависимости от обстоятельств. Пользователи могут иметь возможность, например, запросить у сети, развернутой на месторождении нефти или газа, информацию о погоде у службы Gismeteo, и эти вопросы могут быть отличными от целевого назначения сети метеослужбы. Приложения сенсорных сетей отличаются различными требованиями к качеству услуг, к точности данных, надежности и задержке передачи данных. Например, оперативное обнаружение и уведомление о возникшем пожаре в пожароопасных зонах (например, на газодобывающей скважине) имеет чрезвычайно большое значение и требует надежности и малой задержки передачи данных.

Другим примером может быть интеллектуальный датчик, который выдает до 30-ти различных диагностических сообщений, содержащих информацию о текущем состоянии датчика, использование которых облегчает и ускоряет его обслуживание, способствует повышению надёжности функционирования системы. При возникновении неисправностей, сбоев в работе датчика его самодиагностика позволяет установить причину и место неисправности. Такие типы сообщений разделяют:

- на некритические (обслуживание датчика требуется, однако, текущие значения используются для регулирования);

- и критические (присутствует ошибка в выходных данных, немедленное прекращение использования датчика или переключение в режим безопасного обслуживания).

Вычисления в сенсорных устройствах первого поколения реализовались на процессорах со сравнительно невысокой производительностью вычислений. Процессор второго поколения сенсоров (компания Intel) реализуется на основе 32-битного процессора XScale, и для сжатия информации используется специальный процессор, обеспечивающий необходимую безопасность сенсорных устройств. Размеры новых сенсоров меньше, чем у предыдущего поколения почти в два раза. В новых сенсорах большая RAM и FLASH-память и могут работать на основе операционной системы Linux. Кроме этого, они обладают высокоскоростными возможностями ввода данных, например, с видеокамер.

Сенсорные сети могут самостоятельно самонастраиваться при изменяющихся условиях работы, поддерживать устойчивость и надежность, а также оптимизировать управление ресурсами, например, в случае сбоя из-за разрядившейся аккумуляторной батареи или отказа оборудования. Разрыв коммуникационного канала может быть вызван ухудшением условий распространения сигнала по каналу из-за того, что два взаимосвязанных узла находятся на большом расстоянии друг от друга или внешних помех.

На уровне пользователя в сенсорной сети необходимо обеспечить конфиденциальность. Приложения сенсорной сети должны быть конфиденциально защищены, т.к. передаваемые данные имеют служебное и специальное назначение. При проектировании сенсорных сетей необходимо проводить оценку рисков нарушения конфиденциальности и определять необходимые гарантии безопасности. Пользователям должны приходить уведомления о нарушениях политики конфиденциальности.

На плате сенсорного устройства размещают: процессор, оперативную и флэш память, ЦАП и АЦП, радиочастотный приемопередатчик, датчики и источник питания. Применяют датчики, подключенные через цифровые и аналоговые выходы, для измерения: давления, температуры, влажности, вибрации, освещенности, звука, шума, вредных веществ CO<sub>2</sub> и др. Выбор датчиков обусловлен целью создания системы и функции, выполняемых сенсорными сетями. Питание автономного сенсорного устройства осуществляется от небольшой батареи. Такие сенсоры используют для сбора, первичной обработки и передачи сенсорных данных. Сенсорное устройство WSN, выпускаемое различными производителями, приведено на рисунке 9.3.



Рис.9.3. Внешний вид сенсорных устройств WSN

Основная функциональная обработка данных, собираемых сенсорными устройствами, осуществляется на шлюзе, или узле, представляющим собой достаточно мощный промышленный компьютер или РАС. Узел радиоканала должен быть оснащен антенной для получения информации. Доступными для узла оказываются только сенсорные устройства, находящиеся достаточно близко. На рисунке 9.4 представлена передача информации сенсорами Wireless Sensor Network.

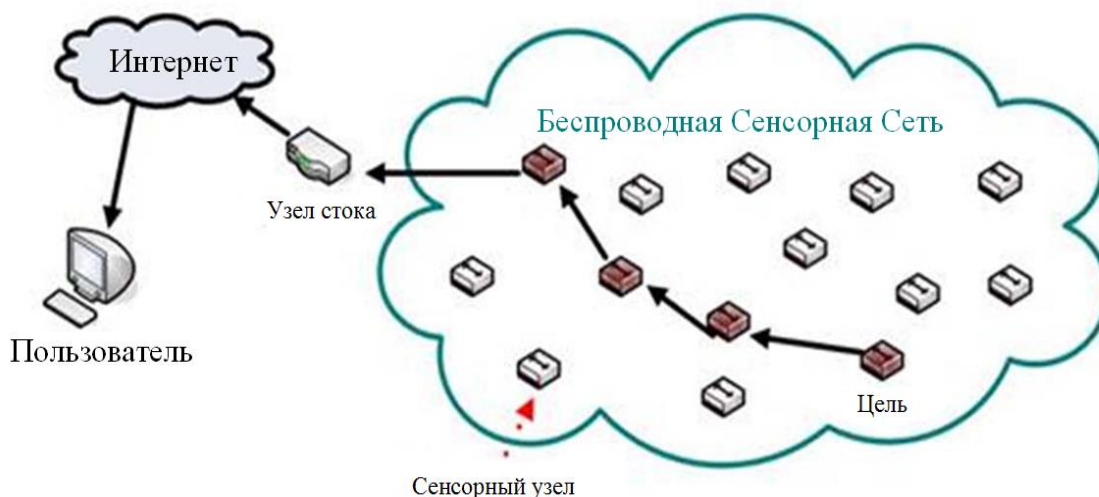


Рис. 9.4. Передача сигнала в сенсорной сети

Сенсорные устройства передают сигнал друг другу приемопередатчиками, работающими в радиодиапазоне. Передается следующая информация: сенсорная, считываемая с датчиков; о состоянии устройств и результатах процесса передачи данных. Типичная архитектура WSN передает информацию по цепочке от одних сенсорных устройств другим, а ближайшие к шлюзу сенсоры отправляют всю аккумулированную информацию. В случае выхода из строя сенсоров, происходит реконфигурация сенсорной сети после чего работа возобновляется.

Из-за отсутствия четкой стандартизации в сенсорных сетях, существует несколько различных платформ сенсорных устройств. Все платформы отвечают основным базовым требованиям к сенсорным сетям: малая потребляемая мощность, длительное время работы, маломощные приемо-передатчики и наличие сенсоров. На рисунке 9.5 показаны конструкционные особенности таких датчиков.

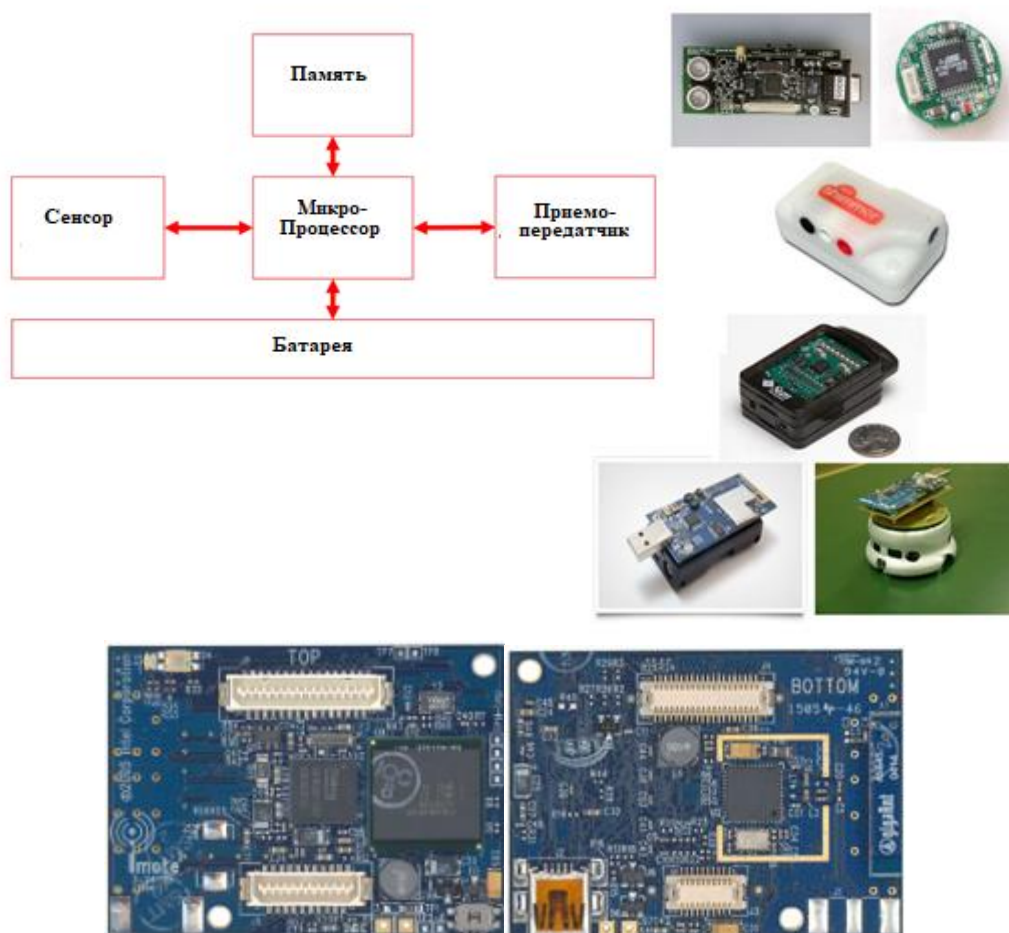


Рис. 9.5. Типовые модули сенсорных платформ

Главным фактором в работе беспроводных сенсорных сетей является ограниченная емкость батареи, установленной на моте. Заменить батареи чаще всего невозможно, поэтому на мотах выполняется простейшая первичная обработка, ориентированная на уменьшение объема передаваемой информации, необходимо минимизировать число циклов приема и передачи данных. Разработаны специальные коммуникационные протоколы, наиболее известными протоколами являются альянса ZigBee. Структурная схема WSN на основе коммуникационной среды ZigBee в приложениях НГО показана на рисунке 9.6.

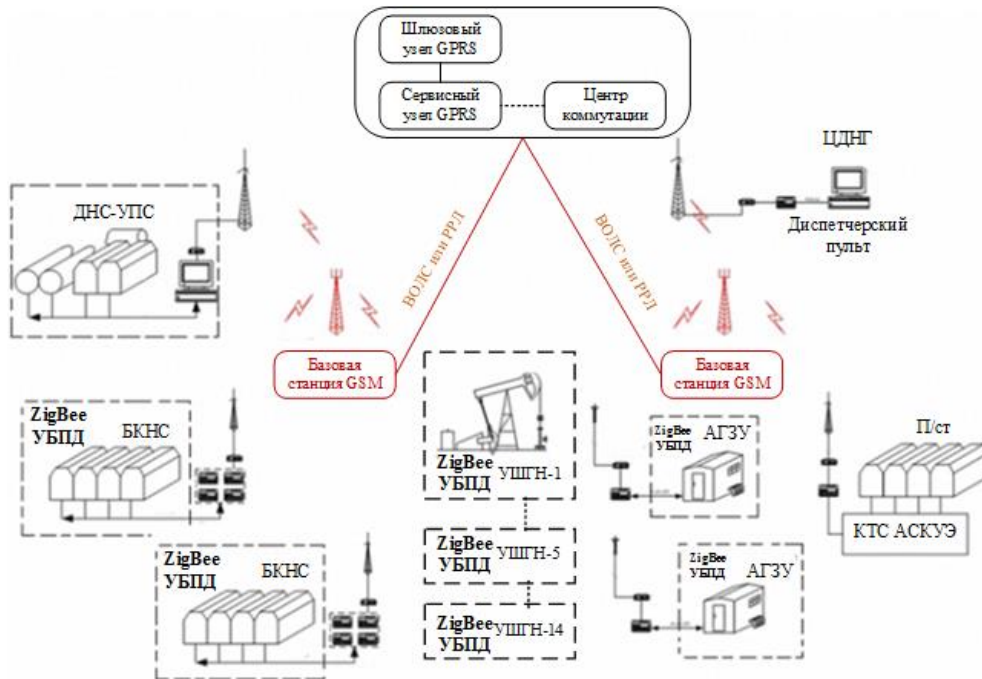


Рис. 9.6. Структурная схема WSN на основе коммуникационной среды ZigBee

Согласно определению, IEEE 802.15.4 – стандарт для низкоскоростных частных радиосетей – Low Rate Wireless Personal Area Network (LR-WPAN), которые обеспечивают беспроводную связь в различных приложениях с ограниченным энергопотреблением, ограниченной пропускной способностью, при передаче информации на небольшие расстояния от нескольких метров до сантиметров.

Основными преимуществами LR-WPAN являются:

- простота установки;
- надежная передача данных;
- небольшая дальность действия;
- низкая по сравнению с аналогами цена;
- продолжительное время работы от батарейки.

Беспроводные сенсорные сети могут реализовывать различные топологии телекоммуникации сенсоров. Рисунок 9.7 отображает изолированную сенсорную сеть, работающую автономно и обособленно от других сетей. Данный вид сенсорных сетей может быть отнесен к сенсорным сетям узкого применения. Рисунок 9.8 отображает случай с множественными сенсорными сетями. На данном рисунке – две сети, соединенные между собой сетевым интерфейсом. Сетевой интерфейс может играть разные роли в сенсорной сети, как показано на рисунках 9.7 и 9.8. Сетевой интерфейс обеспечивает сенсорные сети взаимосвязью с другими сетями через шлюзы доступа.

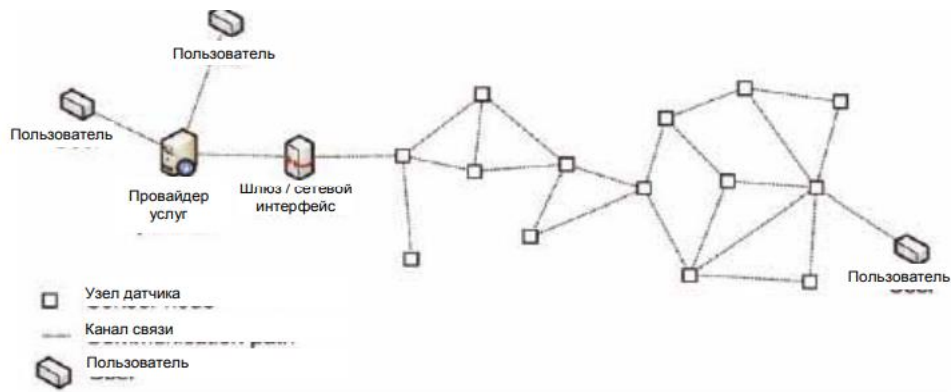


Рис. 9.7 Изолированная сенсорная сеть

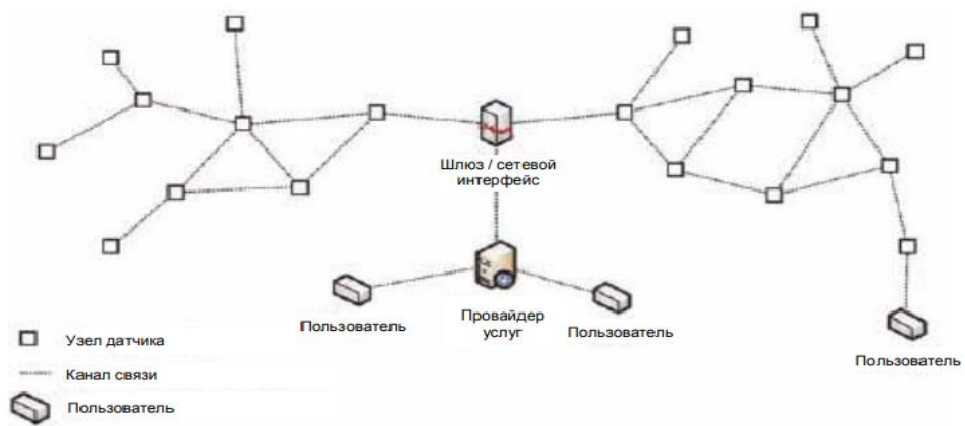


Рис.9.8. Соединенные сенсорные сети

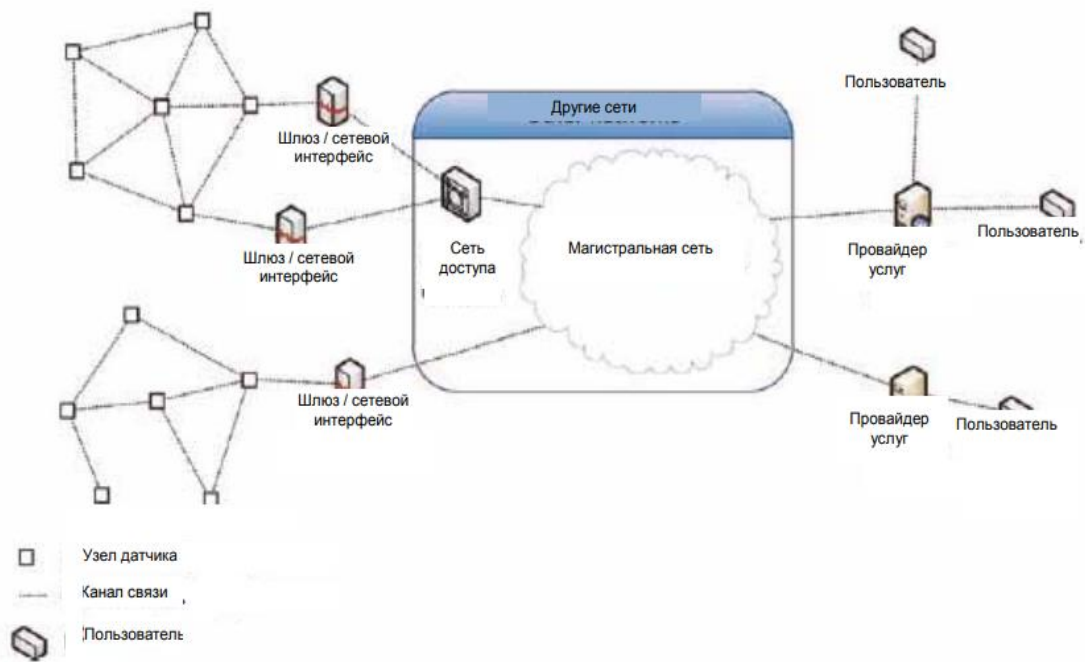


Рис.9.9. Сенсорная сеть, соединенная с другими сетями

На рисунке 9.10 представлена топологии сети датчиков: типа «звезда»; шинная; сотовая топология.

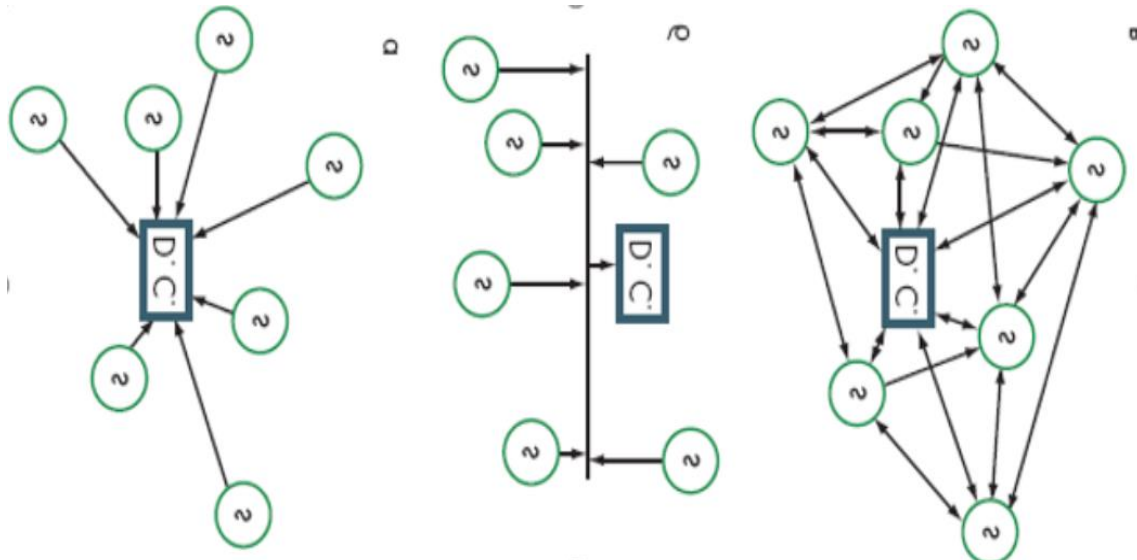


Рис. 9.10 – Топологии сети датчиков: а – топология типа «звезда»; б – шинная топология; в – сотовая топология (S – месторасположение датчиков; D. C. – точка сбора данных)

На рисунке 9.11-9.12 представлены компоненты узла WSN-датчика и WSN архитектура сенсорных сетей, состоящих из автономных датчиков, соответственно.

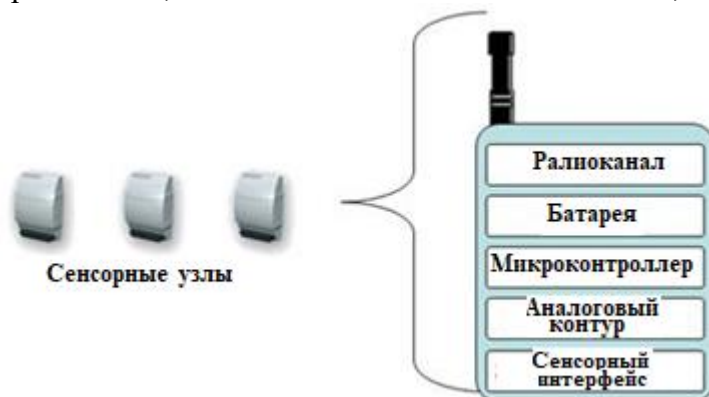


Рис. 9.11. Компоненты узла WSN-датчика

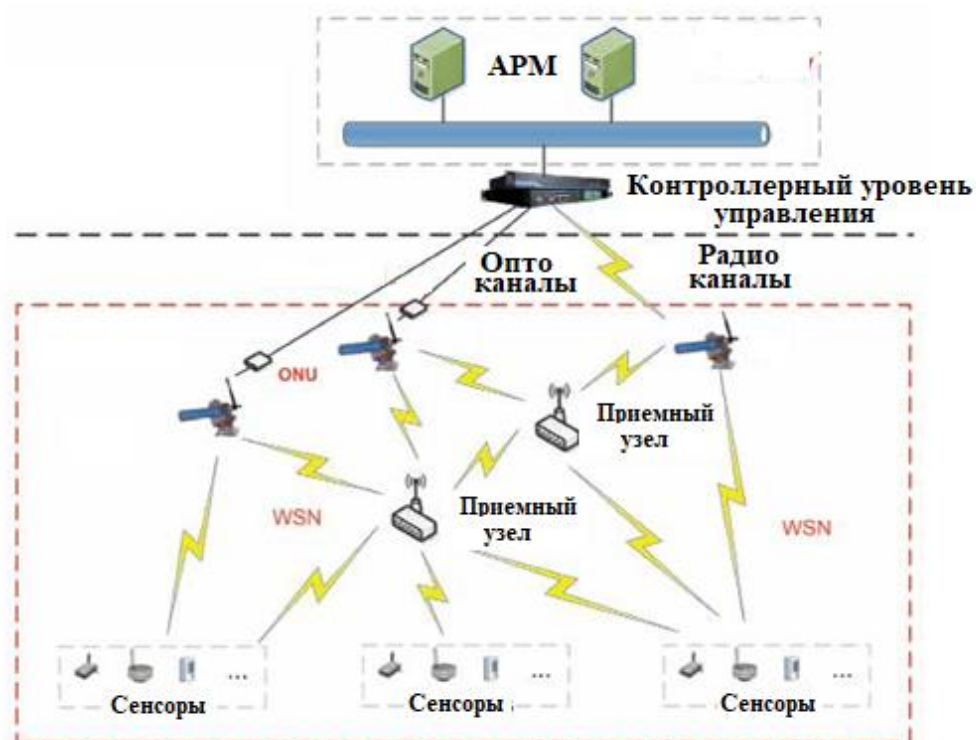


Рис. 9.12. WSN архитектура сенсорных сетей, состоящих из автономных датчиков

В зарубежной практике, для построения беспроводных сетей используют десятки узлов, в основе которых применяются стандартные сенсоры контроля давления, температуры, расхода. Они дешевле за счет массового производства, ремонтпригодности или быстро заменяемы. В таких сетях находят применение специальные координаторы – более «умные» сенсорные устройства, которые выполняют основные функции синхронизации сети. При включении они опрашивают все доступные устройства и выстраивают по ним сеть. В дополнение к ним применяют промежуточные узлы – ретрансляторы или роутеры. Через ретрансляторы выстраивается сеть, по которой передаются пакетами собранные данные и они все стекаются в единую точку сбора. Расстояние между устройствами, как правило, в настоящее время не превышают 100 метров. Однако, уже разработаны и поступили в продажу чипы, которые связываются между собой на расстоянии до 1 км. Правда, при этом, надо понимать, если сигнал проходит на большее расстояния, то будет и больший расход батарей и, следовательно, сеть быстрее израсходует энергию.

Наилучшее использование сенсорных сетей для нефтегазовых операций:

- автоматизация скважин;
- скважинные датчики;
- сейсморазведка;
- трубопроводные работы;
- коррозионный мониторинг;
- анализ вибрации оборудования;
- мониторинг резервуаров.



Реализованное применение сенсоров – контроль за системами водоснабжения. Сенсоры устанавливаются на водопроводных трубах и сигнализируют о дрожании трубы, о влажности окружающей среды специальному шлюзу, расположенному где-то на фонаре или на доме в пределах досягаемости беспроводной связи сенсоров. Энергопитание сенсоров – от батареек, а шлюзов – от сети. В Бостоне такая сеть уже успешно эксплуатируется.

*Интеллектуальная сенсорная сеть* представляет собой дальнейшее развитие автономных сенсорных сетей. Стандарты определяют интеллектуальный датчик как «Адаптивный датчик с функцией метрологического самоконтроля». Термин «интеллектуальные» употребляют в узком смысле по отношению к устройствам, которые за счёт использования в них специальной, обычно микропроцессорной обработки, информации приобретают новые функциональные возможности. Например, интеллектуальный датчик может выдавать более точные показания благодаря применению числовых вычислений. Такой датчик способен работать с большей разновидностью чувствительных элементов, а также комбинировать два или более измерений в одно новое измерение. Например, объединять измерения давления, температуры, влаги в сводный показатель добываемого газа. Интеллектуальный датчик позволяет производить настройку на разные диапазоны измерений или на выполнение полуавтоматической калибровки, а также осуществлять функции внутренней самодиагностики, что упрощает техническое обслуживание.

В практике автоматических измерений и измерительных преобразований многомерных массивов информации АСУ ТП, наряду с основной целью измерения ключевых показателей объекта управления ставится ряд сопутствующих задач таких, как подавление и выделение по заданному признаку одного из нескольких сигналов, ранжирование и сортировка сигналов по информационному признаку и др.[50]. Для решения таких задач создаются интеллектуальные сенсорные сети.

Проводные/беспроводные интеллектуальные сенсорные сети можно рассматривать как ИОТ, расширение Интернета взаимодействия с физическим миром. Интеллектуальные сенсорные сети становятся все более привлекательными в широком диапазоне приложений для решения задач, связанных со сложностью внутренней среды. Интеллектуальные сенсорные сети разрабатываются для того чтобы предоставлять новые возможности системе: динамическое сопровождение задач и автономное обслуживание системы.

Современные датчики представляют собой сложный комплекс самых разных компонентов, высокочувствительных сенсоров, электронных схем, микропроцессоров.

В упрощенном виде работу прибора можно описать следующим образом. Сенсор, созданный на основе монокристаллического кремниевого элемента, преобразует давление, деформацию и др. в электрический сигнал, усиливает его и передается микроконтроллеру, установленному в приборе, а не в центральный контроллер (АСУ ТП), как в классических схемах. Именно поэтому они и называются «интеллектуальными датчиками».

В качестве основных характеристик интеллектуальных датчиков можно выделить:

- минимизация энергопотребления;
- радиочастотная и оптическая коммуникация;

- совместная обработка данных;
- предоставление контекстной информации;
- обработка данных;
- очистка данных;
- проверка SEVA достоверности;
- прогнозирование;
- оказание услуг по индивидуальному требованию;
- коррекция погрешности и возможность автокалибровки измерительных каналов;
- самодиагностика;
- легкость развертывания простота и высокая скорость развертывания;
- самоорганизация и самовосстановление;
- способность выявления возможностей узла датчика;
- самотестирование;
- способность быстрой реконфигурации в условиях неблагоприятной помеховой обстановки;

Термин «датчик» – полная измерительная система, включающая первичный и промежуточный преобразователи, формирователь передаваемого в систему унифицированного сигнала (трансммиттер). Устройство интеллекта – микроконтроллер, производящий математическую обработку информации непосредственно в процессе измерения давления, а также активно управляющий процессом измерения. Обработка данных в самом приборе – основное отличие интеллектуальных датчиков от других приборов для измерения.

«Интеллект» датчиков, как правило, обеспечивает выполнение следующих функций:

- автономность (не обслуживаемость от нескольких часов до месяцев);
- обработка и хранение большого объёма входных данных;
- высокая стабильность метрологических характеристик в течение длительного интервала времени;
- устойчивость к воздействию внутренних, внешних помех и сбоев;
- повышенная точность датчиков и коррекция погрешности;
- самотестирование;
- самообучение с элементами искусственного интеллекта.

Отправной точкой интеллектуального датчика с Self-Validating Sensor становится его дополнительная способность, позволяющая выполнять не только традиционную обработку данных, но и глубокую оценку достоверности измерения, самотестирование, получение дополнительной информации об измерении и диагностике.

Речь идет не просто о диагностике самих передатчиков, которые сегодня достаточно надежные, а о диагностике самого сенсора и процесса измерения в целом. Сейчас в основном в АСУ ТП реализуется диагностика в виде связанных с конкретным устройством кодов ошибок или достоверных разрядов. Хотя эта информация представляет определенную ценность для техобслуживания, она не нацелена на непосредственную поддержку ремонтной службы при принятии производственных решений.

Например, датчик давления выдает сигнал: «ошибка 0x32 – неисправность датчика». Означает ли это, что можно по-прежнему пользоваться результатами измерения давления? Необходимо ли останавливать производственный процесс? А если на предприятии 10 000 датчиков, 15-и различных типов от различных производителей. Вероятно, такие сообщения будут непрерывно поступать диспетчеру. Каждый из этих датчиков может генерировать 50 разных кодов ошибки. В такой ситуации интерпретация всех событий и реакция на них становится настоящей логической проблемой.

Совместная обработка информации интеллектуальных сенсорных сетей Collaborative Information Processing (CIP) интегрирует алгоритмы обработки информации с механизмами сотрудничества датчиков. CIP является важной технологией при внедрении сенсорных сетей с целью повышения эффективности и повышения качества, надежности информации обработки и его результатов в реальных сценариях применения. Этот стандарт определяет службы и интерфейсы поддерживая CIP в интеллектуальных сетях датчиков.

CIP сочетает в себе такие метаданные, как описание сенсорной информации, идентификацию сенсора и расположение сенсорной информации. CIP обрабатывает эффективное управление ресурсами, чтобы обеспечить динамическое задание для выполнения запросов, запрашиваемых потребителями информационных услуг. Хотя для различных приложений сети датчиков обычно требуются специализированные приложения, совместная обработка является обязательным требованием для информационной службы на основе сети для обработки ограничений по мощности (например, батареи), вычислительных ресурсов, памяти и полосы пропускания связи. Совместная обработка также должна решать технические задачи, такие как динамика задач, неопределенность измерений, мобильность узлов и способность адаптироваться к условиям окружающей среды.

На рисунке 9.13 показана структура функциональной модели совместной обработки информации.

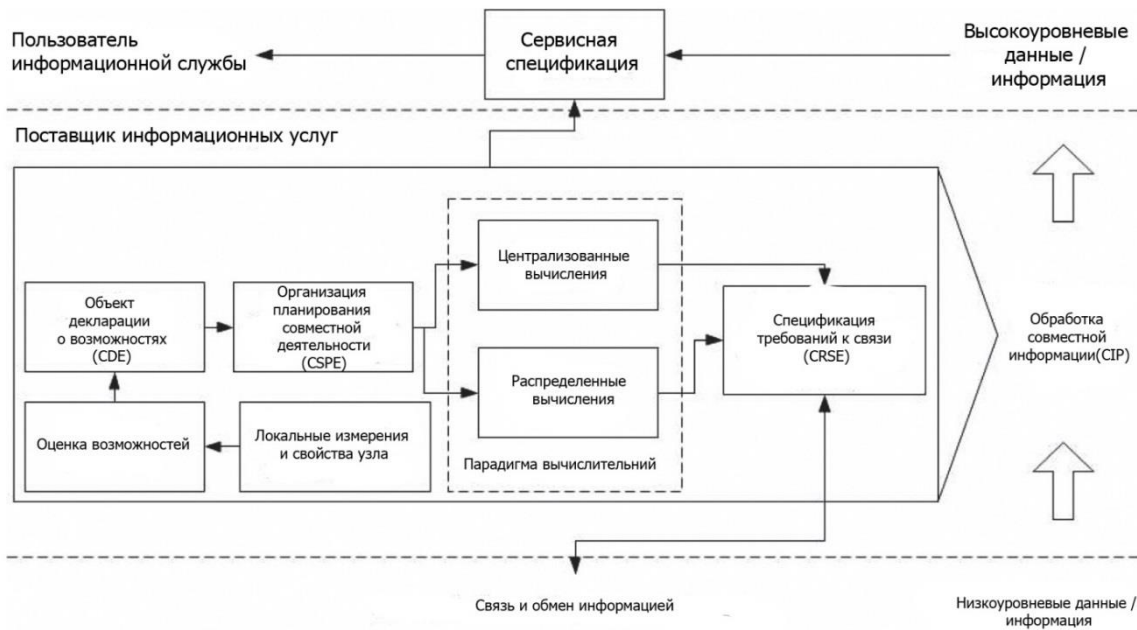


Рис. 9.13. Функциональная модель совместной обработки информации умными датчиками

Канал обмена информацией (Network) связан с коммуникационным процессором NCAP (Network Capable Application Processor), обеспечивающим реализацию протокола стандарта 1451.1 в соответствии с общей объектной моделью. В этой модели использованы 3-и уровня представления данных: функциональный (Function Layer), интерфейсный (Interface Layer) и сетевой (Network Layer) и библиотека шаблонов электронных таблиц, создаваемых с помощью специального языка описания шаблонов (Template Description Language).

От сенсоров и активаторов ((Transducer Electronic Data Sheet, TEDS) через блок преобразования (Transducer Block) или через комбинированный интерфейс (Mixed Mode Interface) поступает информация в коммуникационный процессор. Интеллект преобразователя (датчика) определяется содержанием электронной таблицы, которое может быть использовано при подключении, конфигурировании и в процессе работы системы.

Технология TEDS охватывает датчики с встроенной электронной таблицей характеристик, хранящейся в памяти датчика. В эти характеристики входят: модель, тип, диапазон, чувствительность, данные последней калибровки и др. Архитектура и запись данных стандартизована IEEE 1451.4 (рис.9.14).

Стандарт 1451.5 позволяет описать методы и форматы данных беспроводной связи с сенсорами на основе концепции IEEE 1451 и адаптировать беспроводные интерфейсы и протоколы для использования текущих беспроводных решений.

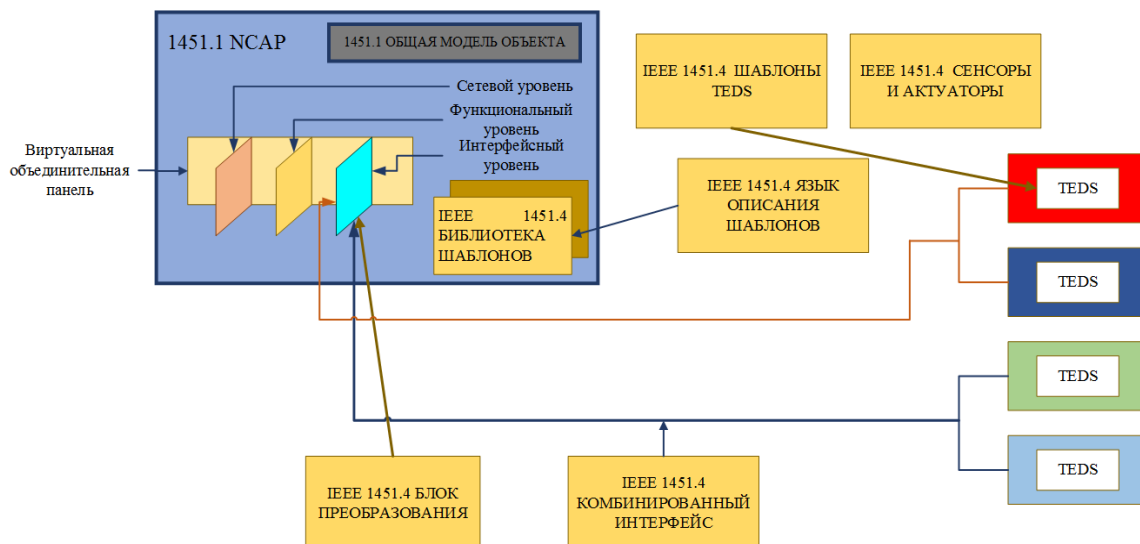


Рис 9.14. Системная архитектура умных датчиков по IEEE 1451.4

Многие компании стали внедрять беспроводные датчики, требующие меньше времени для установки и обладающие возможностью объединения в сеть [50, 51]. Назначение использования беспроводных сетей широкое от удаленного мониторинга трубопроводов, выявления утечки природного газа, коррозии, контроля содержания сероводорода (H<sub>2</sub>S) до оценки состояния оборудования и резервуаров (танков) в режиме реального времени.

Компанией HP запущен любопытный проект, направленный на размещение триллиона датчиков по всему миру для новой инерциальной технологии зондирования в интересах нефтегазовой отрасли. Для решения этой задачи планируется установить 1 млн. узлов сенсорной сети размером с пачку жевательной резинки, содержащие сверхчувствительные, маломощные МЭМС-акселерометры для измерения вибраций и движения горных пород на площади до 15,5 км<sup>2</sup>. Результатом 25 летних исследований стал «Инновационный прорыв в области нанозондирования», совершенный компания при помощи MEMS-технологии. Название данного проекта «Нервная система Земли» (Central Nervous System for the Earth, CeNSE). Компания HP совместно с нефтяным гигантом Shell использует технологию CeNSE для разработки новейшей наземной беспроводной системы сейсморазведки. Целью внедрения является улучшенное качество сейсмических изображений, позволяющее экономически эффективнее исследовать углеводородные месторождения.

Интеллектуальные сенсорные сети используют для наблюдения и предсказания аномальных погодных/природных явлений. Система Automated Local Evaluation in Real-Time (ALERT) разработана Национальной Службой Погоды с применением беспроводной сети сенсоров. Метеорологические/гидрологические сенсорные устройства измеряют несколько параметров: температуру, уровень воды и скорость ветра. От сенсоров информация передается на базовые станции через прямую линию радиопередачи (line-of-sight radio communication).

Модель прогнозирования наводнений используется для обработки данных и выдачи автоматического предупреждения в системе ALERT, установленной по побережью США и используемой для предупреждения наводнений в Калифорнии и Аризоне. Система отслеживает в реальном времени информацию о уровне воды и

осадках, оценивает возможность потенциального наводнения. Данная система может быть полезной для НГО.

Австралийский промышленный гигант добычи газа из угольных пластов увеличил производство сжиженного природного газа от нескольких тысяч скважин до 12 млн. т в год. Увеличение производственной мощности стало возможным при внедрении беспроводной сети управления, реализованной в виде ячеистой сетки для нескольких сотен скважин, используя радиопередающие устройства ELPRO компании Cooper Bussmann для стандартных RDC500, установленных в устьях скважин. Удалось минимизировать количество обслуживающего персонала и увеличить безопасность работ при добыче. На отдельных точках месторождения установлены ретрансляторы узлов, собирающие и передающие данные о потоках газа и воды, давлении, температуре, способные при необходимости закрыть клапаны и остановить насосы.

В Австралии в системе перекачки топлива на одном из нефтеперегонных заводов компании BP Bitumen произошла авария. Для перекачки были использованы временные резервуары для сжиженного газа. Для контроля целостности трубопроводов компания BP использовала сенсорную сеть от к. Emerson. Датчики в этой сети передавали сообщения о внештатных ситуациях в диспетчерскую для принятия соответствующих решений. Благодаря беспроводному оперативному мониторингу удалось сохранить завод по производству битума в рабочем состоянии.

Интеллектуальные сети датчиков используются не только для измерения скалярных параметров: давление и температура, но и для более сложных процессов – мониторинга вибрации. Компания BP для контроля вибрации двигателей выбрала предложение компании Crossbow Technology, установив инерциальные MEMS-датчики на нефтяные резервуары. Внедрение беспроводной технологии WSN позволило снимать показания с датчиков более часто и точнее, исключив человеческий фактор, что привело к снижению затрат на ТО двигателей.

При построении телеметрии и удаленных SCADA-систем разработчикам все чаще приходится сталкиваться с необходимостью измерения параметров процесса в труднодоступных местах. Удаленность, опасные условия, отсутствие других источников питания, дорогостоящее обслуживание являются лишь некоторыми препятствиями, с которыми приходится сталкиваться при автоматизации объектов. Для таких сложных приложений компания Schneider Electric предлагает экономически эффективное решение, включающее широкий выбор устройств для измерения температуры, давления, расхода, уровня и других параметров – беспроводные датчики Accutech.

Компания Yokogawa выпустила первые в своем роде беспроводные устройства ISA100 и беспроводные датчики давления и температуры в июле 2010 года. Помимо предоставления расширенных возможностей по управлению непрерывными процессами, этот шаг дал заказчикам Yokogawa возможность выбирать из более широкого ассортимента продукции.

Yokogawa продолжает расширять свою линейку датчиков и устройств ISA100 Wireless, включая адаптеры, которые позволят разработать лучшие в своем классе решения для создания ценности в интересах заказчика, а также способствовать дальнейшему распространению использования беспроводных технологий.

Можно выделить следующие перспективные технологические направления интеллектуализации автоматизированного управления производствами и технологическими процессами с использованием WSN:

1. Киберфизические системы, в которых оборудование, датчики и информационные системы соединены на протяжении стоимостной цепочки создания, выходящей за функционал конкретного предприятия. Эти системы взаимодействуют друг с другом с помощью стандартных интернет-протоколов для прогнозирования, самонастройки и адаптации к изменениям.
2. Интернет вещей – концепция использования WSN для обеспечения взаимодействия физических предметов («вещей»), оснащённых встроенными сенсорными устройствами, способных перестроить технологические и производственные процессы без участия человека.
3. Облачные сервисы – сервисы, работающие на облачных хранилищах. Они находятся во внешней для конкретного производственного объекта среде (в аутсорсинге или в централизованном хранилище данных компании) и обеспечивают доступ с любой точки выхода в сети общего доступа (или корпоративной вычислительной сети). В онлайн (облачных) хранилищах данные хранятся на многочисленных распределённых серверах.
4. Big Data – обработка и использование больших структурированных и неструктурированных данных огромных объёмов и значительного многообразия, эффективно обрабатываемых горизонтально масштабируемыми программными инструментами, появившимися в конце 2000-х годов.

В перечень самых популярных откликов на запрос компаний производителей автономных сенсоров входят системы пожарной безопасности:

- продукция Компании «Аргус-Спектр», например: «Извещатель пожарный дымовой оптико-электронный точечный автономный», тип «Аврора-01 (ИП 212-81)»;
- продукция Компании «Болид», например: «Извещатель пожарный дымовой оптико-электронный точечный автономный», тип «ДИП-34АВТ (ИП 212-34АВТ)»;
- продукция Компании «Рубеж», например: «Извещатель пожарный дымовой оптико-электронный точечный автономный», тип «ИП 212-112»;
- продукция Компании «ИВС-Сигналспецавтоматика», например: «Извещатель пожарный дымовой оптико-электронный автономный», тип «ИП 212-43»;
- продукция Компании «КВАЗАР», например: «Извещатель пожарный дымовой оптико-электронный автономный», тип «ИП 212-47 «АГАТ»;
- продукция Компании «Систем Инжиниринг», например: «Извещатель пожарный дымовой оптико-электронный точечный автономный», тип «ИП 212-52СИ»;
- продукция Компании «Сибирский Арсенал», например: «Извещатель пожарный дымовой оптико-электронный точечный автономный», тип «ИП 212-63А»;
- продукция Компании «Планета-ОПС», например: «Извещатель пожарный дымовой оптико-электронный точечный автономный», тип «ИП 212-69/3М»;
- продукция Компании «Радотехно», например: «Извещатель пожарный дымовой оптико-электронный автономный», тип «ИП 212-88Х»;
- продукция Компании «Артрон», например: «Извещатель пожарный дымовой оптико-электронный автономный», тип «ИПД-3.4М».

Нефтехимический завод British Petroleum (Geel, Бельгия) прошел очередной этап модернизации. На этот раз это система контроля утечек на базе Smart Wireless

от Emerson. На предприятии были установлены трансмиттеры Rosemount 702 в сочетании с датчиками Pentair. В результате система, основанная на IEC 62591 (WirelessHart communications), вышла на 50 % дешевле и была смонтирована на 90 % быстрее по сравнению с проводной стандартной технологией.

Очевидным является достоинство беспроводных систем сбора данных и датчиков с автономным электропитанием. Единственная проблема повсеместного применения – ограниченное энергетическое обеспечения. Решение должно быть комплексным, затрагивающим все узлы беспроводных датчиков и структурные блоки.

Американский производитель специального серверного оборудования – компания Geist – представил беспроводные датчики «двойного назначения» для мониторинга состояния окружающей среды. Оригинальное оборудование Geist рассчитано на установку в серверные стойки и залы ЦОД. В данном случае беспроводное подключение открывает перед комплектами компании возможность перехода в категорию вещей с подключением к Интернету. Например, для мониторинга в реальном режиме времени температуры и влажности в строениях.

Компания Endress+Hauser предлагает беспроводные решения для автоматизации измерений на базе универсального адаптера SWA70 WirelessHART и шлюза SWG70 WirelessHART. При помощи адаптера SWA70 можно сделать беспроводными любые датчики, имеющие выходной сигнал HART и/или 4...20 мА, в том числе датчики измерения уровня, расхода, давления и температуры. Электропитание датчика при этом может осуществляться как от автономного модуля питания, встроенного в адаптер, так и от внешнего источника питания.

Используя беспроводные решения Endress+Hauser, можно существенно расширить возможности применения беспроводных технологий на своем предприятии, не ограничиваясь только установкой дополнительных датчиков в труднодоступных точках, куда физически невозможно или экономически нецелесообразно вести линии питания и связи.

Благодаря универсальности адаптера SWA70, можно объединять в единую сеть измерительные приборы, которые уже эксплуатируются на производстве, например, в составе автономных решений по автоматизации, расположенных в удаленных или труднодоступных местах предприятия.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Данное учебное издание дает возможность получения студентами начальных знаний по использованию киберфизических систем в различных производствах.



В настоящее время быстро развиваются новые технологии цифровизации производства. Специалисту в области интегрированного автоматизированного управления технологическими процессами и производствами необходимы знания прорывных перспектив развития современных информационных технологий.

Четвертая промышленная революция, умные фабрики, умные города создают инфраструктуру умного (интеллектуального) пространства для людей, в котором люди и технологические системы взаимодействуют во все более открытых, взаимосвязанных, скоординированных и интеллектуальных экосистемах. Все элементы умного пространства, включая людей, процессы, услуги и вещи, формируют цифровую вселенную, а вместе с ней все более захватывающую, интерактивную и автоматизированную практику, в которой киберфизические системы обеспечивают сетевое самоуправление умными активами (умными сущностями) предприятий.

Изучив основные направления развития умных производств, студент приобретает необходимые знания для выполнения творческих проектов, учебно-исследовательской работы, проектов умной автоматизации технологических процессов и производств с использованием технологий интернета вещей.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. ГОСТ Р 55062-2012. Информационные технологии (ИТ). Системы промышленной автоматизации и их интеграция. Интероперабельность. Основные положения. – Москва: Изд-во стандартов, 2018. – 20 с.

2. Громаков Е.И., Мамонова Т.Е., Лиепиньш А.В., Рымшин А.Н. Развитие перспективной автоматизации в нефтегазовой отрасли // Нефтяное хозяйство научно-технический и производственный журнал. – 2019. – № 10. – С. 98-102.
3. Александрова Т.В. Громаков Е.И., Зарницын А.Ю. Лиепиньш А.В. Стандартизация робототехнических устройств // Перспективные системы и задачи управления: материалы Одиннадцатой всероссийской научно-практической конференции и Седьмой молодёжной школы-семинара «Управление и обработка информации в технических системах». – 2016. – Т. 2. – С. 11-15.
4. Росляков А.В. Интернет вещей: учебное пособие / А.В. Росляков, С.В. Ваняшин, А.Ю. Гребешков. – Самара: ПГУТИ, 2015. – 200 с.
5. Что интересного есть в Gartner Hype Cycle – 2020 [Электронный ресурс]. – URL.: <https://vc.ru/future/151824-что-интересного-est-v-gartner-hype-cycle-2020> (дата обращения: 05.09.2020).
6. Цифровая реальность перерабатывающих предприятий: от понимания к дорожной карте [Электронный ресурс]. – URL.: <https://oilcapital.ru/article/general/03-12-2019/tsifrovaya-realnost-pererabatyvayuschih-predpriyatij-otponimaniya-k-dorozhnoy-karte> (дата обращения: 06.09.2020).
7. Gartner Hype Cycle 2019: разбор полётов [Электронный ресурс]. – URL.: <https://vc.ru/future/91493-gartner-hype-cycle-2019-razbor-poletov>. (дата обращения: 07.09.2020).
8. About Gartner (англ.) [Электронный ресурс]. – URL.: [www.gartner.com](http://www.gartner.com) (дата обращения: 08.07.2020).
9. Солдатов С. Интеграция SCADA-систем и систем управления предприятием // Современные технологии автоматизации. – 2016. – №1. – С. 90-95.
10. Леньшин В.Н., Куминов В.В. Производственные исполнительные системы (MES) – путь к эффективному предприятию [Электронный ресурс]. – URL.: <http://asutp.ru/?p=600359> (дата обращения: 02.02.2020).
11. Интеграция ERP и MES-систем: взгляд сверху 2018 [Электронный ресурс]. – URL.: <https://stepanovd.com/science/article/34-2016-1-erpmes> (дата обращения: 02.03.2020).
12. «Газпром нефть» разработала стратегию цифровой трансформации [Электронный ресурс]. – URL.: [www.up-pro.ru/print/library/information\\_systems/production\\_strategiya-tsifrovoy-transformatsii.html](http://www.up-pro.ru/print/library/information_systems/production_strategiya-tsifrovoy-transformatsii.html) (дата обращения: 05.04.2020).
13. Астапчук В.А. Корпоративные информационные системы: требования при проектировании [Электронный ресурс]. – URL.: <https://www.biblio-online.ru/viewer/korporativnye-informacionnyesistemy-trebovaniya-pri-proektirovani-444114#page/1> (дата обращения: 06.04.2020).
14. Рыжко А.Л. Информационные системы управления производственной компанией [Электронный ресурс]. – URL.: <https://www.biblio-online.ru/viewer/informacionnye-sistemy-upravleniyaproizvodstvennoy-kompaniey-432931#page/1> (дата обращения: 01.04.2020).
15. Загидуллин Р.Р. Управление машиностроительным производством с помощью систем MES, APS, ERP. – Старый Оскол.: ТНТ, 2011. – 372 с.
16. Максимова Е.А. Использование SCADA-технологий в современных автоматизированных системах управления / Е.А. Максимова, С.Н. Грицюк // Молодой ученый. – 2015. – № 22. – С. 45–48.

17. Камило Фадул, Синди Скотт. Базовые элементы современного HMI // Control Engineering Россия. – 2018. – № 1 (73). – С. 50–68.
18. Громаков Е.И. Интегрированные компьютерные системы проектирования и управления: учеб. пособие / Е.И. Громаков, А.В. Лиепиньш. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 213 с.
19. Гончаренко А.Н. Интегрированные информационные системы: учеб. пособие – М.: МИСиС, 2018. – 76 с.
20. Краткое описание системы «MATRIXMES». Завтра начинается сегодня. Application Note «Matrix MES/PCS» [Электронный ресурс]. – URL.: <https://docplayer.ru/26529419-Matrix-mes-pcs-m-a-t-r-i-x-m-e-s-z-a-v-t-r-a-n-a-ch-i-n-a-e-t-s-ya-s-e-g-o-d-n-ya-k-r-a-t-k-o-e-o-p-i-s-a-n-i-e-s-i-s-t-e-m-y.html> (дата обращения: 05.04.2020).
21. Сафина Д.М. Управление ключевыми показателями эффективности: учебное пособие / Д.М. Сафина. – Казань: Казан. ун-т, 2018. – 123 с.
22. CIM общая информационная модель [Электронный ресурс]. – URL.: <http://www.tadviser.ru/> (дата обращения: 05.05.2020).
23. Интеллектуальная система управления MATRIX SMS [Электронный ресурс]. – URL.: <https://system-ap.ru> (дата обращения: 06.05.2020).
24. Чехарин Е.Е. Большие данные: большие проблемы // Перспективы науки и образования. – 2016. – № 3. – С. 10–88.
25. Куприяновский В.П. Умная инфраструктура, физические и информационные активы, Smart Cities, BIM, GIS и IoT // International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – № 5. – С. 1–32.
26. Куприяновский В.П., Д.Е. Намиот, С.А. Синягов. Киберфизические системы как основа цифровой экономики // International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – № 4. – С. 31–42.
27. Цветков В.Я. КИБЕР ФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 6. – С. 64–65.
28. Кудж С.А., Цветков В.Я. Сетевое управление и киберфизические процессы // Образовательные ресурсы и технологии. – 2017. – № 2. – С. 86–92.
29. Афанасьев М. Я., Федосов Ю. В., Крылова А. А., Шорохов С. А. Организация киберфизических производственных систем с использованием технологий блокчейн и смарт-контрактов // Изв. вузов. Приборостроение. – 2019. – Т 62. – № 3. – С. 226–236.
30. Росляков А.В. Интернет вещей: учебное пособие / А.В. Росляков, С.В. Ваняшин, А.Ю. Гребешков. – Самара: ПГУТИ, 2015. – 200 с.
31. Андреев Ю.С., Третьяков С.Д., Промышленный интернет вещей. – СПб: Университет ИТМО, 2019. – 54 с.
32. Что такое искусственный интеллект (ИИ): определение понятия простыми словами [Электронный ресурс]. – URL.: <https://theoryandpractice.ru/posts/17550-cto-takoe-iskusstvennyu-intellekt-ii-opredelenie-ponyatiya-prostymi-slovami> (дата обращения: 06.05.2020).
33. Пройдаков Э.М. Современное состояние искусственного интеллекта // Научно-исследовательские исследования. – 2018. – № 18. – С. 129–153.
34. Иванов А. Искусственный интеллект. Текущие достижения и направления развития [Электронный ресурс]. – URL.: <https://iot.ru/gadzhety/iskusstvennyu-intellekt-tekushchiodstizheniya-i-osnovnye-napravleniya-razvitiya> (дата обращения: 08.07.2020).

35. Интеллектуальные агенты. Конкретные архитектуры интеллектуальных агентов. Языки программирования агентов [Электронный ресурс]. – URL.: <http://5fan.ru/wievjob.php?id=77538> (дата обращения: 02.07.2020).
36. Амелин К.С. Амелина Н.О., Граничин О.Н., Кияев В.И. Разработка приложений для мобильных интеллектуальных систем на платформе Intel Atom. – СПб.: Издательство ВВМ, 2012. – 211 с.
37. Кузнецов А.В. Краткий обзор многоагентных моделей [Электронный ресурс]. – URL.: <https://cyberleninka.ru/article/n/kratkiy-obzor-mnogoagentnyh-modeley> (дата обращения: 27.08.2020).
38. Интеллектуальные агенты. Конкретные архитектуры интеллектуальных агентов. Языки программирования агентов [Электронный ресурс]. – URL.: <http://5fan.ru/wievjob.php?id=77538> (дата обращения: 02.05.2020).
39. Кухаренко Б.Г. Интеллектуальные системы и технологии / Б.Г. Кухаренко; Министерство транспорта Российской Федерации, Московская государственная академия водного транспорта. – Москва: Альтаир: МГАВТ, 2015. – 115 с.
40. Савельев А.О. Введение в облачные решения Microsoft. – М.: Изд-во Лань, 2016. – 231 с.
41. ИТ-директора боятся «облаков» и «Cloud Computing». При чем тут виртуализация? [Электронный ресурс]. – URL.: <http://www.cnews.ru> (дата обращения: 01.09.2020).
42. Что такое умный город и где уже реализована эта концепция [Электронный ресурс]. – URL.: <https://lifehacker.ru/umnyj-gorod> (дата обращения: 02.09.2020).
43. Управление инженерными системами в умном здании, офисе или гостинице [Электронный ресурс]. – URL.: <http://comfortautomatic.ru/umnyj-dom/upravlenie-inzhenernymi-sistemami-v-umnom-zdanii-ofise-ili-gostinitse.html> (дата обращения: 04.09.2020).
44. Шваб К. Технологии четвертой промышленной революции / Клаусс Шваб, Николас Дэвис, перевод с английского. – Москва: Эксмо, 2018. – 320 с.
45. Роджерс Д.Л. Цифровая трансформация. Практическое пособие / Дэвид Л. Роджерс: пер. с англ. – М.: Издательская группа «Точка», 2017 – 344 с.
46. Боровков А.И. Цифровое производство. Методы, экосистемы, технологии. Рабочий доклад департамента корпоративного обучения Московской школы управления СКОЛКОВО. М.: 2017. – 84 с.
47. ГОСТ Р 56947-2016/ISO/IEC/IEEE 21450:2010. Информационные технологии (ИТ). Интерфейс интеллектуального преобразователя для датчиков и исполнительных устройств. Общие функции, протоколы. – Москва: Изд-во стандартов, 2017. – 100 с.
48. ГОСТ 8.673-2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Основные термины и определения. – Москва: Стандартиформ, 2010 – 12с.
49. ГОСТ Р 8.734-2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Методы метрологического самоконтроля. – Москва: Стандартиформ, 2012 – 20 с.
50. Лихтциндер Б.Я. Беспроводные сенсорные сети: учебное пособие / Б.Я. Лихтциндер, Р.В. Киричек, Е.Д. Федотов, Е.Ю. Голубничая, А.А. Кочегуров. – М.: Горячая линия – Телеком, 2020. – 236 с.

51. Жданов С.Н. Телекоммуникационные протоколы беспроводных сенсорных сетей: учебное пособие / С. Н. Жданов, В.С. Синепол. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. – 2020. – 120 с.
52. ГОСТ Р ИСО/МЭК 29182-1-2018. Информационные технологии. Эталонная архитектура для сенсорных сетей (SNRA). Часть 1. Общий обзор и требования. – Москва: Изд-во стандартов, 2018 – 22с.

Учебное издание

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.**

# КИБЕРФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Учебное пособие

Составители  
ГРОМАКОВ Евгений Иванович  
СИДОРОВА Анастасия Александровна

Корректурa *И.О. Фамилия*  
Компьютерная верстка *И.О. Фамилия*  
Дизайн обложки *И.О. Фамилия*

Подписано к печати 00.00.2018. Формат 60×84/16. Бумага «Снегурочка».  
Печать CANON. Усл. печ. л. 0,00. Уч.-изд. л. 0,00  
Заказ 000-18. Тираж 100 экз.