

**Д.С. Бурцев, Е.С. Гаврилюк, А.Г. Изотова,
А.С. Лебедева, И.Н. Леонтьева, Н.А. Литвинова,
Е.Н. Кан, Ф.Э. Сатторов**

ИНФРАСТРУКТУРА И РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ



**Санкт-Петербург
2021**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

**Д.С. Бурцев, Е.С. Гаврилюк, А.Г. Изотова,
А.С. Лебедева, И.Н. Леонтьева, Н.А. Литвинова,
Е.Н. Кан, Ф.Э. Сатторов**

ИНФРАСТРУКТУРА И РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ ИТМО
по направлению подготовки 27.03.05 - Инноватика,
в качестве учебного пособия для реализации основной профессиональной
образовательной программы высшего образования бакалавриата «Управление
технологическими инновациями»



**Санкт-Петербург
2021**

Бурцев Д.С., Гаврилюк Е.С., Изотова А.Г., Лебедева А.С., Леонтьева И.Н., Литвинова Н.А., Кан Е.Н., Сатторов Ф.Э. Инфраструктура и ресурсное обеспечение цифровой экономики – СПб: Университет ИТМО, 2021. – 190 с.

Рецензент(ы):

Будрина Елена Викторовна, доктор экономических наук, профессор, профессор (квалификационная категория "ординарный профессор") факультета технологического менеджмента и инноваций, Университета ИТМО.

Учебное пособие рекомендовано студентам, обучающимся по направлению подготовки 27.03.05 - Инноватика по образовательной программе высшего образования бакалавриата «Управление технологическими инновациями» при изучении дисциплины «Инфраструктура и ресурсное обеспечение цифровой экономики», с целью формирования базовых знаний необходимых для понимания особенностей взаимодействия и направлений технологического развития современных предприятий в условиях функционирования при переходе к цифровой экономике.



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

© Университет ИТМО, 2021

© Бурцев Д.С., Гаврилюк Е.С., Изотова А.Г., Лебедева А.С., Леонтьева И.Н., Литвинова Н.А., Кан Е.Н., Сатторов Ф.Э., 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
РАЗДЕЛ 1. ГЛОБАЛЬНЫЕ ТРЕНДЫ И ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ.....	7
1.1 От первой промышленной революции к Индустрии 4.0.....	7
1.2 Экономический потенциал цифровизации и цифровой трансформации.....	14
1.3 Мировые тренды в области производства и потребления.....	16
1.4 Ключевые отличия передового производства от традиционного. Особенности жизненного цикла продукта в цифровой среде.....	21
1.5 Особенности развития технологий в условиях цифровой экономики.....	23
1.6 Технологические тренды развития цифрового маркетинга.....	26
1.7 Основные инструменты цифрового маркетинга.....	29
1.8 Цифровой след как источник данных для осуществления маркетинговой деятельности.....	32
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ ПО РАЗДЕЛУ 1.....	38
РАЗДЕЛ 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕНДЫ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ.....	39
2.1 Мировые тренды в области развития промышленности.....	39
2.2 Суперкомпьютеры. Развитие суперкомпьютерных центров. Суперкомпьютерный инжиниринг. Задачи, решаемые с использованием суперкомпьютеров.....	41
2.3 Новые материалы. Суперсплавы, метаматериалы, наноматериалы и композиты. Цифровизация процесса дизайна материалов.....	52
2.4 Технологии беспроводной связи. Классификация беспроводных сетей. Сотовые сети связи. Особенности сетей связи стандарта 5G...	63
2.5 Квантовые технологии. Основные области применения квантовых технологий. Квантовый компьютер. Квантовое шифрование. Квантовые сенсоры.....	71
2.6 Системы распределенного реестра. Проблемы и преимущества технологии блокчейн. Криптовалюта. Смарт-контракты. Использование технологии блокчейн в государственном секторе....	79
2.7 Большие данные. Источники больших данных. Технологии обработки больших данных. Проблемы внедрения больших данных. Применение больших данных в промышленности, маркетинге, медицине и безопасности.....	88
2.8 Виртуальная реальность. Дополненная реальность. Практическое применение виртуальной и дополненной реальности.....	97

2.9 Искусственный интеллект. Машинное обучение. Алгоритмы машинного обучения. Нейронные сети. Сферы применения искусственного интеллекта.....	104
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ ПО РАЗДЕЛУ 2.....	113
РАЗДЕЛ 3. ИНФРАСТРУКТУРА И РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОЗДАНИЯ ФАБРИК БУДУЩЕГО.....	114
3.1. Цифровое проектирование и моделирование.....	114
3.2. Аддитивные технологии.....	126
3.3. Фабрики будущего.....	130
3.4. Фабрика Будущего «Технет» НТИ.....	132
3.5 Передовые производственные технологии. Сквозные цифровые технологии.....	133
3.6 Уровни готовности технологий и проектов.....	135
3.7 Цифровизация производственного процесса.....	136
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ ПО РАЗДЕЛУ 3.....	138
РАЗДЕЛ 4. ВЛИЯНИЕ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ НА БИЗНЕС-МОДЕЛИ И ИНФОРМАЦИОННУЮ ИНФРАСТРУКТУРУ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	139
4.1 Основные черты цифровой экономики.....	139
4.2 Платформа цифровой экономики.....	142
4.3 Цифровая экосистема.....	143
4.4 Бизнес-модели цифровой экономики.....	144
4.5 Потенциал трансформации бизнес-модели в цифровой экономике.....	145
4.6 Модель цепочки добавления ценности в условиях цифровой трансформации.....	146
4.7 Канва бизнес-модели Александра Остервальдера.....	147
4.8 Шаблоны бизнес-моделей цифровой экономики.....	149
4.9 Оцифровка, автоматизация, цифровизация и цифровая трансформация.....	161
4.10 Информационные системы.....	168
4.11 Информационные системы управления предприятием.....	171
4.12 Эволюция ERP систем.....	172
4.13 Классификация информационных систем управления предприятий по объекту применения.....	174
4.14 Особенности применения CRM и ERP систем в различных отраслях экономики.....	184
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ ПО РАЗДЕЛУ 4.....	186
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	187

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ

- ИКТ – информационно-коммуникационные технологии
ИПС – Информационно-поисковые системы
НТИ – Национальная технологическая инициатива
ППТ – передовые производственные технологии
САПР – системы автоматизированного проектирования
СОД – систем обработки данных
СПС – справочно-правовые системы
СППР – системы поддержки принятия решения
СЦТ – сквозные цифровые технологии
СЭД – системы автоматизированного делопроизводства
САД – компьютерное проектирование
САЕ – компьютерный инжиниринг
САМ – технологическая подготовка производства
САО – топологическая оптимизация
СРМ – концепция управления эффективностью бизнеса, решающая задачи в области стратегического и финансового управления компанией
CRM – система, направленная на учет потребностей клиентов и использующаяся для эффективного маркетинга, продаж и обслуживания клиентов
CSRP – планирование ресурсов в зависимости от потребностей клиента
EAM – информационная система, предназначенная для автоматизации процессов, связанных с техническим обслуживанием оборудования, его ремонтом, а также послепродажным обслуживанием
ЕСМ – система для поддержки единого жизненного цикла неструктурированной информации (контента) различных типов и форматов
ЕМИ – это системы сбора и визуального отображения информации с любого уровня управления для последующего анализа и построения различных форм отчетности
EDMS – система управления документами предприятия.
ERP – система планирования (управления) ресурсами предприятия.
HPC - суперкомпьютерный инжиниринг
HRM – система управления кадрами организации.
LIMS – мировой стандарт в области автоматизации процессов в лабораториях, оптимизирует работу с лабораторными данными.
MIS – информационная система управления, отвечает за общее управление организацией и может включать в себя ERP.
MRP – планирование потребности в материалах
MRPII - планирование производственных ресурсов
PLM - управление жизненным циклом изделий

ВВЕДЕНИЕ

В условиях перехода к цифровой экономике актуальными становятся вопросы трансформации бизнес-моделей предприятий и организаций в целях научно-технологического развития на микро- и макроуровне, что является одним из приоритетов государственной политики. Для эффективного функционирования и развития организаций необходимо привлечение и использование разнообразных ресурсов, а также создание эффективной внешней и внутренней инфраструктуры предприятия. Понимание происходящих изменений в этой области управленческой деятельности является важным не только для эффективного менеджмента, но и создания инновационных продуктов, способных вывести экономику страны на качественно новый уровень.

Вопросы, рассматриваемые в данном издании, соответствуют содержанию учебной дисциплины «Инфраструктура и ресурсное обеспечение цифровой экономики», реализуемой в рамках образовательной программы бакалавриата «Управление технологическими инновациями» по направлению подготовки 27.03.05 – Инноватика. Дисциплина направлена на формирование у обучающихся следующих компетенций:

- осуществлять управление процессами планирования и организации производства и их развитие на предприятии;
- разрабатывать стратегии развития предприятия, планировать деятельность по продвижению инновационных продуктов.

Содержание данного пособия позволяет сформировать знания у обучающихся о трендах, задающих направления развития цифровой экономики (первый раздел). Содержание второго раздела формирует представление о передовых технологиях и материалах, использование которых лежит в основе технологического развития высокотехнологичных отраслей экономики. Третий раздел знакомит читателя с концепцией фабрик будущего и необходимыми для их формирования ресурсами и инфраструктурой, а четвертый описывает процессы трансформации бизнеса в условиях перехода к цифровой экономике.

Учебное пособие может быть рекомендовано преподавателем обучающимся в качестве опорного конспекта, закладывающего базис изучаемой дисциплины на лекционных занятиях, в самостоятельной работе и в подготовке к выполнению заданий на практических занятиях.

В рамках каждого раздела рассмотрены базовые категории и представлен конспект лекций, перечень вопросов для самоконтроля, необходимых для подготовки к зачету или экзамену по курсу, а также список литературы, рекомендованный для более глубокого изучения дисциплины. В пособие включены материалы как отечественных, так и зарубежных авторов, а также интернет-источники.

РАЗДЕЛ 1. ГЛОБАЛЬНЫЕ ТРЕНДЫ И ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

1.1 От первой промышленной революции к Индустрии 4.0

Промышленная революция – это качественные изменения, происходящие в обществе под воздействием революции в технике, в технологии, способе соединения человека со средствами труда¹.

Зачастую категорию «промышленная революция» отождествляют с термином «технологическая революция». Однако между этими явлениями есть различия. Промышленная революция является более объемным процессом, включающим в себя не только технологическую революцию, представляющую собой перемену метода осуществления производственной и хозяйственной деятельности с помощью глобального внедрения новых ключевых технологий, но и другие производственные и социальные перемены, которые влияют на все сферы деятельности общества. Тем не менее, основа промышленных изменений в большей части заключена именно в технологическом процессе, поэтому с этой точки зрения выделяют 4 этапа промышленной революции.

Содержание этапов промышленной революции и их особенности представлены в таблице 1.

Помимо представленной выше классификации, существует еще одна, разработанная российским методологом и политтехнологом П.Г. Щедровицким. Определяя этапы промышленной революции, ученый объединил третью и четвертую промышленную революцию и добавил так называемую нулевую революцию, которая предшествовала первой в XVII веке. Технологией мышления на данном этапе развития считалось конструирование, а среди основных технологических инструментов выделяли лес, камень, торф и ветер. Страной-лидером нулевой технологической революции являлись Нидерланды.

Четвертую промышленную революцию тесно связывают и ассоциируют с Industry 4.0. Что же это такое? В широком смысле под индустрией 4.0 понимается глобальная тенденция производства на основе автоматизации, облачных технологий и технологий искусственного интеллекта в управлении системой. В таком производстве также наблюдаются тенденции к использованию не одного предприятия, а целой глобальной промышленной сети вещей и услуг.

¹ Рябов Ю.А., Марусаева В.М. Промышленные революции. Причины и последствия (СПбПУ).

Таблица 1 – Этапы промышленной революции

Этапы	Период	Охват	Событие, послужившее началом революции	Изобретения	Результат
Первая промышленная революция	40-е г. XVIII в. – XIX в.	Страны Европы (в основном Англия и Нидерланды), США	Изобретение парового двигателя Дж. Уаттом	Паровой двигатель, ткацкие и новые технологии в металлургии, токарные и фрезерные станки, телеграф, анестезия, уличное освещение и т.д.	Первичная индустриализация и глобальный подъем труда посредством механизации производственных процессов
Вторая промышленная революция	Вторая половина XIX в. – начало XX в.	Западная Европа, США, Российская Империя, Япония	Изобретение конвейера Г. Фордом	Автомобиль, конвейер, автоматический ткацкий станок, механический наборный стан, динамо-машина, лампа накаливания, генератор, трансформатор, ДВС, электрифицированная железная дорога, первая гидроэлектростанция	Создание массового рынка и повышение доступности автомобиля, внедрение и распространение конвейерного поточного производства и поточных линий, электрификация производства, развитие транспортных систем (в частности, железных дорог), начало автомобилизации, развитие авиации и химической промышленности. Экономический рост в Европе

Третья промышленная революция	1960-е гг. – начало XXI в. (продолжается и сейчас в некоторых отраслях)	Страны Европы, США, Россия, азиатские страны и т.д.	Изобретение первых логических контроллеров в конце 1960-х годов	Компьютер, логические контроллеры, промышленные роботы, коммуникационные технологии, мобильные телефоны, Интернет и т.д.	Автоматизация и роботизация производства, повышение эффективности в сфере сбора и обработки информации, развитие электроники, повышение уровня социальной и профессиональной мобильности
Четвертая промышленная революция	Начало XXI в. – настоящее время	Страны Европы, США, Россия, азиатские страны и т.д.	Повсеместное распространение Интернета и переход от встроенных систем к кибер-физическим	Искусственный интеллект, технология блокчейн, Интернет вещей, квантовые технологии, 3D-печать, нанотехнологии и т.д.	Симбиоз промышленных и технологических инноваций и слияние технологий, приводящее к размытию границ физического, цифрового и биологического миров. Основное направления развития заключено не в повышении производительности, а в появлении таких характеристик как гибкость и кастомизация

В узком же смысле Industry 4.0 – это название одного из 10 проектов государственной Hi-Tech стратегии Германии до 2020 года, описывающего концепцию умного производства на базе глобальной промышленной сети интернета вещей и услуг². В основе Industry 4.0 - концепция Интернета вещей, которая способствует объединению киберфизических систем, сформированных из сетей организаций. Единая киберфизическая система включает в себя аппаратную часть, логистические системы и технологическое оборудование, которые должны быть ориентированы на возможность самостоятельного исполнения различных задач, включающих в себя обмен информацией, контроль действий и автономной инициализации задач.

В настоящее время существует множество мировых инициатив и программ, которые направлены на развитие Industry 4.0. Так как концепция Industry 4.0 и передовые производственные технологии, входящие в нее, находятся в тренде глобального развития, инициатором создания и реализации программ поддержки выступают технологически развитые страны, в которых индустрия 4.0 ориентирована на совершенствование промышленной, научной, образовательной и инновационной области. В данный момент существует множество программ развития Industry 4.0, а некоторые страны реализуют одновременно сразу несколько таких инициатив, например, Германия и Япония. Рассмотрим наиболее значимые из них:

- Advanced manufacturing partnership (США);
- Factories of Future partnership – Horizon 2020 (ЕС);
- Программа Industry 4.0 (Германия);
- Общество 5.0 (Япония);
- Национальная технологическая инициатива (Россия).

Advanced manufacturing partnership. Несмотря на то, что США реализует сразу несколько инициатив по развитию индустрии 4.0, рассматриваемая «advanced manufacturing partnership» является ключевой. Главной целью данного проекта выступает сокращение разрыва между основными этапами создания инноваций: стадией, на которой высшие школы и научные учреждения занимаются фундаментальными исследованиями, и стадией создания самих инновационных продуктов. На практике зачастую возникают ситуации, когда одни не могут коммерциализировать те научные разработки, которые пока не удалось реализовать в готовом продукте, а другие не способны до конца дорабатывать имеющиеся технологии и, базируясь на них, создавать

² Пушкина О.В., Молоков Я.П. Влияние IOT (интернет вещей) и индустрии 4.0 на процессы снижения затрат и повышение эффективности производства // Вестник московского университета им. С.Ю. Витте. Серия 1: экономика и управление. – 2020. – № 4 (35). – С. 87-92.

готовые промышленные изделия. Разрыв, возникающий в таких ситуациях, и должна заполнить представленная программа.

Основным инструментом, направленным на уменьшение такого разрыва, будут выступать институты производственных инноваций – Institute of Manufacturing Innovation или IPI – представляющие собой государственно-частные партнерства, основанные на взаимосвязи промышленных (компании, предприятия), образовательных (университеты, муниципальные колледжи) и государственных (федеральные органы власти) организаций. Ключевая задача таких институтов заключается в объединении и дальнейшей реализации фундаментальных и прикладных исследований, которая могла бы привести к созданию и массовому выводу на рынок новых инновационных продуктов и технологий.

В настоящее время в проекте задействованы такие значимые участники, как Министерство обороны, Министерство энергетики, Министерство торговли, NASA и Национальный научный фонд (NSF).

Factories of Future partnership – Horizon 2020. Данная программа является одной из основных инициатив развития индустрии 4.0 для стран Европы по той причине, что функционирует не в отдельных странах, а объединяет многие страны Европейского Союза. Цель программы состоит в повышении качественного уровня производства и промышленности за счет реализации высокой продуктивности, экологической безопасности и добавленной стоимости. Все это приведет к росту социально-экономического развития стран.

Выведению промышленного производства на более высокий уровень способствует создание так называемых «фабрик будущего» (Factories of Future) на основе государственно-частного партнерства (Public-Private Partnership), стартовавшего в Евросоюзе в 2008 году. Данное партнерство включает в себя более 150 технологически передовых проектов, а фабрики, созданные внутри него, затрагивают все производственные области и осуществляют задачи по модернизации в таких крупных сферах деятельности, как логистика, энергоэффективность, программирование, новые материалы и т.д. Драйверами развития выделенных направлений являются уменьшение затрат, рост гибкости и безопасности производства, повышение качественного уровня продукции при ее быстром выходе на рынок и т.д.

Концепция партнерства Factories of Future подразумевает следующую классификацию «фабрик будущего»:

- цифровые (цифровое проектирование и моделирование продукции и производства);
- умные (гибкое производство, автоматизация индустриальный Интернет);
- виртуальные (управление цепочками поставок и распределенными активами) [29].

Главным участником *Factories of Future partnership – Horizon 2020* выступает ассоциация EFFRA (European Factories of the Future Research Association).

Программа Industry 4.0. Как уже упоминалось ранее, в узком смысле Industry 4.0 представляет собой проект государственной Hi-Tech стратегии Германии. Ключевой идеей представленной программы выступает трансформация встроенных систем, представленных центральными блоками управления различных объектов, в киберфизические системы, в которых происходит взаимосвязь объектов между собой благодаря использованию таких инструментов, как Интернет вещей, сетей и данных.

Ключевая цель программы Industry 4.0 заключается в росте показателя конкурентоспособности промышленных предприятий Германии, а также повышении производительности труда и увеличении такого показателя, как ВВП. Инструментом для достижения поставленной цели будет выступать симбиоз трех сфер – государственной, в лице Министерства образования и исследований и Министерства экономики и технологий ФРГ, научного сообщества, представленного Национальной академией технических наук, и частного бизнеса, включающего в себя как автономные организации, так и крупные ассоциации.

Общество 5.0. Одной из особенностей японской инициативы по развитию передовых производственных технологий является то, что она во многом направлена не только на развитие цифрового потенциала экономического и промышленного секторов страны, но и затрагивает социально-культурную систему и цифровизацию самого общества в целом. Организатором программы выступает одна из крупнейших японских федераций бизнеса «Кэйданрэн», и свою основную цель в реализации данной инициативы она видит в решении следующих задач, присущих нынешней Японии:

- уменьшение роста численности жителей;
- повышение уровня показателя бездетности для трудоустроенного и работающего население;
- ускорение процесса старения общества.

Концепция Общества 5.0 и суть ступеней развития общества в рамках этой системы представлены на рисунке 1.

Концепция программы заключается в том, что в данный момент общество находится на четвертой ступени и ему необходимо двигаться к пятой. Этот переход может быть осуществлен за счет осуществления программы Общество 5.0, в основе которой лежат технологии Интернета вещей, киберфизические системы, большие данные и т.д. Особое внимание будет уделено сфере здравоохранения и ее цифровой трансформации для решения социальных проблем общества.



Рисунок 1 – 5 ступеней развития общества
(Источник: СПбГПУ)

Национальная технологическая инициатива. Одной из трех ключевых российских программ по развитию индустрии 4.0 является национальная технологическая инициатива (НТИ). Главными задачами программы, запущенной в 2014 году при поддержке президента В.В. Путина, является организация новых рынков и формирование определенных предпосылок (заделов), призванных помочь России занять место технологического лидера, а также укрепить позиции отечественных технологических компаний за счет активизации деятельности на новых рынках. В рамках концепции НТИ государство должно играть роль так называемой «сервисной» организации, тем самым помогая бизнесу и производству, ориентированному на высокие технологии, ускорять и повышать темпы своего развития.

Структура НТИ предполагает выделение девяти рынков будущего (AeroNet, AutoNet, NeuroNet, EnergyNet, HealthNet, SafeNet, MariNet, FoodNet, FinNet), а также формирование группы TechNet, включающей в себя развитие передовых производственных технологий и формирование новейшего поколения производств³.

Ключевые принципы НТИ выражены в следующем:

- НТИ представляет собой проект людей, а не организаций, и его формирование основано на совместном взаимодействии, в основе которого находится организация проектных групп;
- процесс цифровизации мировой экономической системы и

³ Рябов Ю.А., Марусаева В.М. Мировые инициативы и программы, направленные на развитие INDUSTRY 4.0 (СПбПУ).

специфика цифровой экономики делает НТИ программой, ориентированной на новые глобальные высокотехнологичные рынки;

– основной вектор развития в НТИ направлен на обучение специализированных и профессиональных кадров (инженеры, научные сотрудники, предприниматели), умеющих качественно и эффективно функционировать на новых рынках.

1.2 Экономический потенциал цифровизации и цифровой трансформации

Множество экспертов считает, что технологии цифровой трансформации окажут положительное влияние на производительность труда, тем самым способствуя глобальному экономическому росту⁴. Действительно, возникновение и последующее внедрение новых технологий может привести к появлению определенного количества благоприятных для экономической системы факторов:

- рост производительности труда;
- формирование новых рынков и дальнейшее функционирование организаций на них;
- увеличение фактора конкурентоспособности за счет создания новых технологий и продуктов;
- улучшение уровня и качества жизни населения и т.д.

Также можно отметить, что цифровизация экономики значительным образом влияет на создание новых экономических процессов, систем и секторов⁵.

На рисунке 2 отражен экономический потенциал цифровизации.

Ожидается, что к 2025 году европейская промышленность может достичь дополнительного ежегодного оборота в размере до €250 млрд за счет использования технологий цифровой трансформации⁶.

Если рассматривать мировые тренды в области развития высокотехнологичной промышленности, то одним из пяти основных трендов выступает тенденция смещение «центра тяжести» на этап проектирования и разработки в цепочке добавленной стоимости. На рисунке 3 представлена кривая добавленной стоимости.

⁴ Введение в «Цифровую» экономику/ А.В. Кешелава В.Г. Буданов, В.Ю. Румянцев и др.; под общ. ред. А.В. Кешелава; гл. «цифр.» конс. И.А. Зимненко. – ВНИИГеосистем, 2017 – 28 с. (На пороге «цифрового будущего». Книга первая).

⁵ Галеева В.Р. Роль и место цифровизации в экономическом развитии // Московский экономический журнал. – 2019. – № 13. – С. 225-232.

⁶ Новак А.В. Технологии успеха // Энергетическая политика. – 2020. – № 7 (149). – С. 6-15.

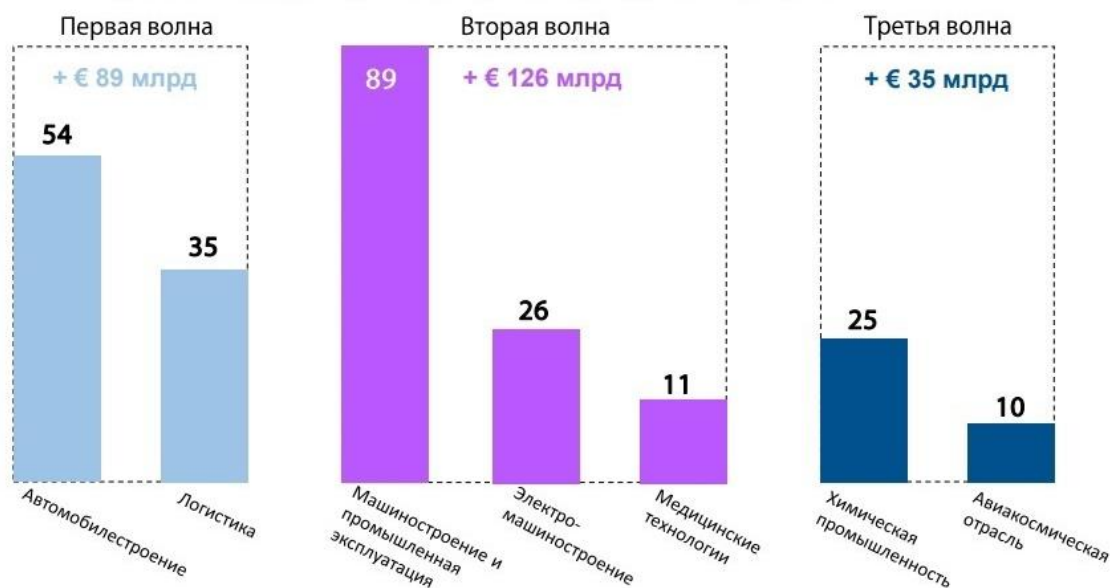


Рисунок 2 – Экономический потенциал цифровизации
(источник Roland Berger)

Если обратиться к цепочке создания добавленной стоимости, можно отметить, что сам производственный процесс является низко маржинальным, т.е. не приносит достаточной прибыли, поэтому, если предприятия хотят обеспечить себе достаточную прибыль, они должны сосредоточиться на краях этой кривой. С одной стороны, можно уйти в маркетинг и продажи, и весь бизнес будет строиться на анализе данных. Нужно будет собирать большое количество информации относительно объектов, которые исследуются, включая сам продукт и рынок, на котором он представлен.

В данной ситуации возникает явление, носящее название «цифровая тень». Цифровая тень представляет собой структуру определенных взаимосвязанных элементов, с помощью которых можно произвести описание функционирования определенного объекта в рамках его обычной деятельности и заключающихся в больших данных, которые могут быть получены благодаря технологии промышленного Интернета.

С другой стороны, организация может быть сосредоточена на стадиях проектирования и цифрового моделирования при создании продукции. Эти этапы имеют важное значение, т.к. именно на них происходит закладывание окончательных характеристик продукта и его показателей, отражающих степень соответствия продукции с образцами, представленными на рынке.

Происходит создание продукта, моделирование всего жизненного цикла, а все финансирование и упор идет, соответственно, на НИОКР (разработка, проектирование). Именно поэтому необходимо ориентироваться на технологии, предоставляющие формирование «цифровых двойников». Цифровой двойник – это технология, в основе которой лежит создание цифровой копии физического объекта и процесса.

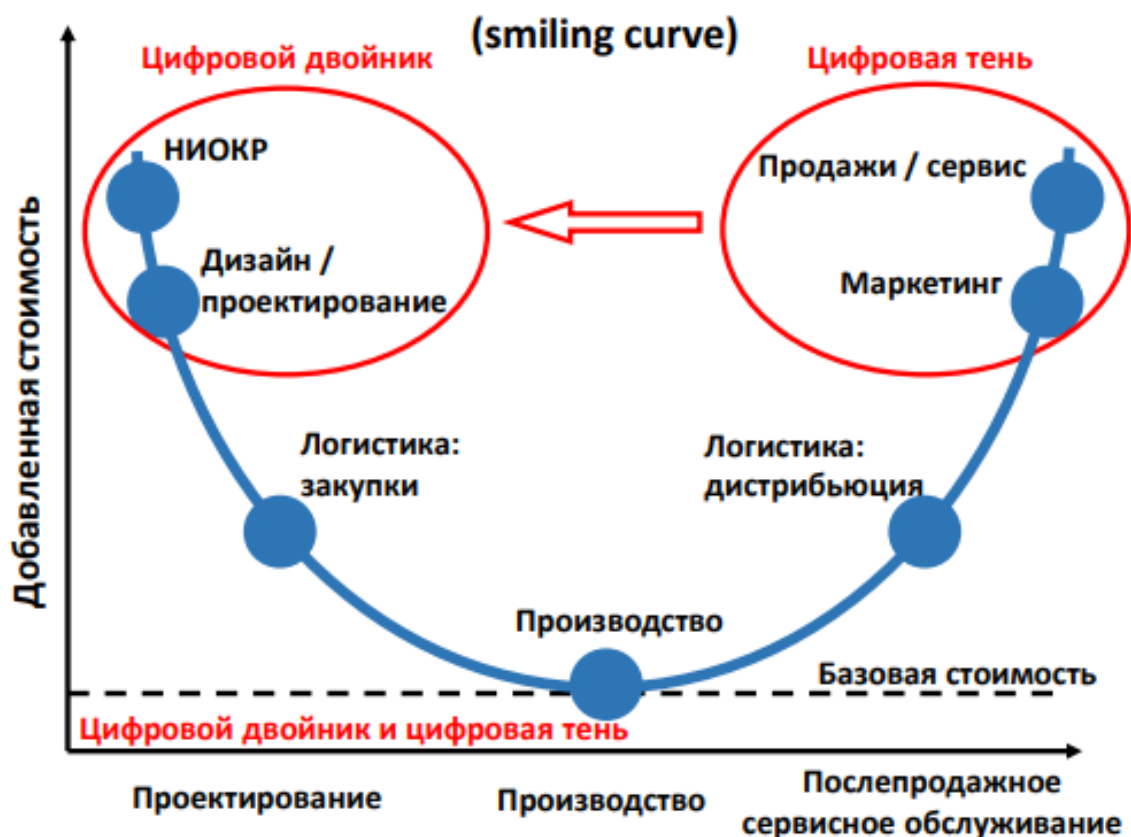


Рисунок 3 – Цепочка (кривая) добавленной стоимости
(Источник: СПбГПУ)

Обеспечение лидерства на этих двух краях кривой, т.е. симбиоз технологий цифровой тени и цифрового двойника – это то, к чему должно стремиться предприятие, т.к. объединение этих двух технологий дает ключевое конкурентное преимущество, тем самым меняя суть существующей промышленности.

1.3 Мировые тренды в области производства и потребления

Мировые тренды в области производства и потребления. На протяжении современной истории новые производственные парадигмы определялись изменениями на рынках и потребностями клиентов. На приведенном ниже графике (рисунок 4), представленном аналитиками компании Siemens, показано, как изменения способствовали этим переходам. Глобализация движется к кастомизации и индивидуальному производству по мере того как общество стремится к большему разнообразию. Колебания рынка, которые растут с каждым днем, вынуждают производителей производить еще меньшие объемы по каждому

варианту продукции. Приближается парадигма индивидуального изготовления⁷.

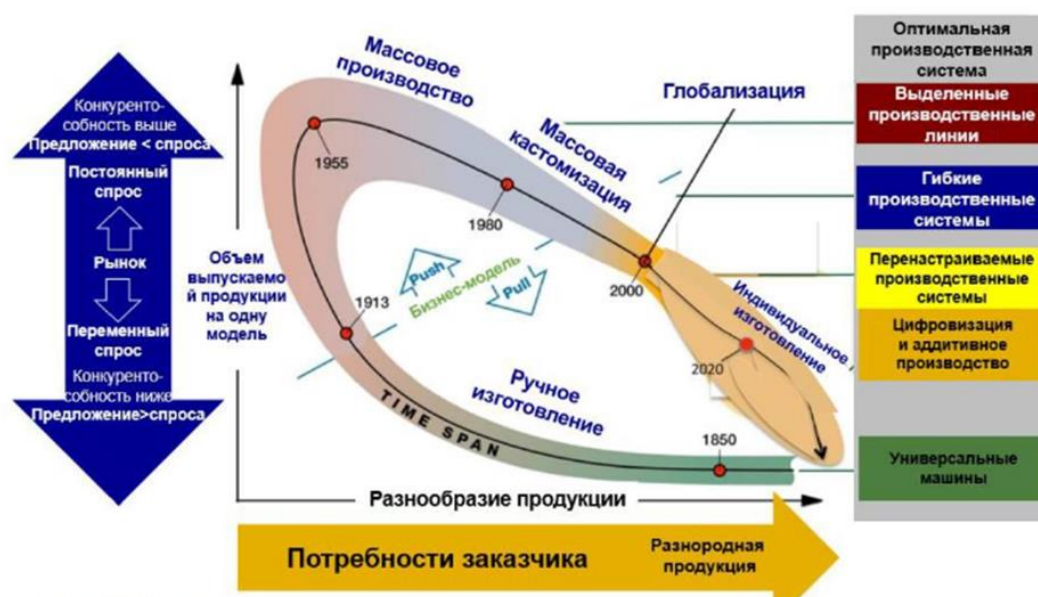


Рисунок 4 – Тренды в области производства и потребления
(Источник: Siemens)

Сегодня ключевыми трендами в развитии высокотехнологичной промышленности являются:

- рост сложности производства и производимой продукции;
- цифровизация производства и использование технологии цифровых двойников;
- смещение «центра тяжести» на этап проектирования и разработки;
- сокращение времени на принятие решений (Time to Decision), реализации проектов (Time to Execution) и выпуска решения на рынок (Time to Market);
- массовая кастомизация продукции [36].

Цифровизация производства. В цифровой трансформации производства люди, машины, продукты и системы объединяются в динамическую, самоорганизующуюся сетевую структуру, работающую в режиме реального времени с использованием ИКТ (информационно-коммуникационных технологий) и Интернета. В результате все этапы производственно-сбытовой цепочки становятся прозрачными, с бесшовными информационными связями (см. раздел про цепочку добавленной стоимости). Большая гибкость будет достигаться вплоть до

⁷ Global Manufacturing – Teaching Objectives [Электронный источник]. URL: <https://ykoren.engin.umich.edu/education/global-manufacturing/>

стадии массового производства единичной продукции при экономической и технологической эффективности серийного производства.

Цифровизация промышленности – это концепция нового цифрового пространства, единая система, в которую внедряются производственные машины, системы жизнеобеспечения и безопасности предприятия, т.е. вся электроника организации. Сенсоры и сенсорные устройства позволяют интегрировать различные физические объекты в виртуальную сеть, где они могут взаимодействовать друг с другом без вмешательства человека.

Основными преимуществами цифровизации являются повышение производительности компаний за счет сокращения времени, необходимого для разработки, вывода на рынок и доставки нового продукта потребителю, а также оптимизация ресурсов компании, что повышает общую операционную эффективность.

Роль этапа проектирования и разработки. Поскольку цифровые технологии являются ответом на многие вызовы, они все глубже проникают во все сферы производства, особенно на высокотехнологичных предприятиях. «Центр тяжести» в мировой конкуренции смещается на этап проектирования, который становится все более важным, о чем подробно написано в разделе о цепочке добавленной стоимости. Для высокотехнологичной продукции и производственных процессов создаются цифровые двойники, которые в полной мере учитывают все факторы, влияющие на продукт в процессе его разработки и последующей эксплуатации.

На рисунке 5 продемонстрировано внедрение технологии «Цифровой двойник» и смещение «Центра тяжести». С точки зрения метода создания, цифровой двойник представляет собой технологию, процесс проектирования, основанный на разработке и реализации семейства сложных и многопрофильных математических моделей, описываемых нестационарными, трехмерными, нелинейными дифференциальными уравнениями в частных производных с высоким уровнем адекватности:

- поведения в различных условиях эксплуатации реальных материалов, объектов / систем / машин / конструкций;
- разнообразных технологических процессов, с помощью которых создаются реальные материалы и реальные объекты / изделия / продукты.

Технология «Цифровой двойник» хоть и является одной из важных технологий в цифровом проектировании, но она не единственная.



Рисунок 5 – Этапы традиционного и передового производства
(Источник: СПбГПУ)

Технологии цифрового проектирования и моделирования представлены ниже:

- математическое моделирование;
- компьютерное проектирование (CAD);
- компьютерный и суперкомпьютерный инжиниринг (CAE, HPC);
- топологическая оптимизация (CAO);
- технологическая подготовка производства (CAM);
- «цифровые двойники» (Digital Twin);
- управление данными о продукте (PDM);
- управление жизненным циклом изделий (PLM).

Сокращение времени на принятие решений, реализации проектов и выпуска решения на рынок. Возрастающие требования к качеству и характеристикам конечной продукции, а также процесс глобализации стимулируют конкуренцию. Технологический прогресс приводит к усложнению и диверсификации промышленных производственных процессов и конечных продуктов. Повышается спрос на максимальный учет индивидуальных требований заказчика. Существует потребность в массовой кастомизации и даже персонализации продукции, если она производится для конкретного клиента. Однако при этом конкуренция требует выводить продукты на рынок все быстрее, что, в свою очередь, сопряжено с ускорением производственных процессов.

Цифровая модель развития – это не только полное цифровое преобразование экономики в «цифровую экономику» и высокотехнологичных отраслей в «цифровую промышленность», но и учет

тройных итоговых требований современных глобальных рынков, т.е. сокращение времени принятия решений (Time-to-Decision, T2D), значительное сокращение времени на исполнение (Time-to-Execution, T2E) и значительное сокращение времени вывода продукции на глобальный рынок (Time-to-Market, T2M) [15].

Время выхода на рынок (T2M) – это время между разработкой новой идеи и ее выведением на рынок. Другое определение – это время между началом работы команды и продажей первой единицы.

Есть несколько причин, по которым компании хотят сократить время выхода на рынок:

- конкурентное преимущество;
- снижение затрат на НИОКР;
- повышение удовлетворенности клиентов;
- увеличение дохода;
- увеличение доли рынка.

Массовая кастомизация продукции. Кастомизация – адаптация массового продукта под запросы конкретного потребителя путем частичной модификации продукта в соответствии с конкретным запросом на базе добавления к продукту дополнительных элементов или аксессуаров.

Массовая кастомизация – производство продуктов и услуг для ограниченного круга потребителей с учетом их интересов и требований, с последующей модификацией основного продукта.

В маркетинге кастомизация используется для мотивации целевой аудитории к покупке продукта. Для этого применяют сразу несколько инструментов продуктового и торгового маркетинга, а также «consumer service» (обслуживание клиентов).

Выделяют три основные цели кастомизации:

- дифференциация предложения;
- формирование предложения для определенного сегмента целевой аудитории;
- привлечение новых целевых клиентов.

Посредством кастомизации компания старается сформировать у клиентов впечатление, будто продукт был создан именно для них. Этот ход активно используется в директ-маркетинге.

В настоящее время кастомизация преимущественно используется в малом бизнесе. Небольшие организации стремятся удовлетворить потребности любого клиента. Однако этот метод постепенно становится востребованным и у крупных корпораций.

Основной проблемой остается высокая стоимость создания уникальных продуктов. Товары массового производства выпускать гораздо дешевле. Такое предложение не является конкурентоспособным для

широкого круга покупателей ввиду более высокой стоимости конечной продукции.

Выделяют 5 основных этапов кастомизации товаров:

- формирование идеи;
- проектирование;
- прототипирование;
- внесение изменений;
- производство конечного продукта.

Наиболее распространенные сферы, где используется кастомизация, – это дизайн одежды и обуви, интерьера, аксессуаров, автомобилей.

1.4 Ключевые отличия передового производства от традиционного. Особенности жизненного цикла продукта в цифровой среде

Традиционное производство – производство, которое сформировалось до цифровой эпохи.

Передовое производство – это производство, в котором широко используются компьютерные, высокоточные и информационные компоненты, интегрированные с высокопроизводительной рабочей силой, которое создает систему, сочетающую преимущества массового производства, гибко настроенную на необходимый в данный момент объем выпуска и в то же время обладающую высокой степенью кастомизации с целью быстрого реагирования на потребности клиентов⁸.

В таблице 2 представлены основные отличия традиционного производства от передового. На рисунке 5 (см. раздел 1.3) визуализированы традиционный и передовой подходы к производству.

Традиционный подход отличается линейностью производства и при разработке нового продукта проходит несколько итераций до пятой стадии жизненного цикла. В традиционном производстве высок риск, что опытный образец не пройдет тестирование, и тогда создание продукта начинается с первой стадии проектирования.

Передовой подход отличают использование технологии цифрового двойника, который позволяет перенести проектирование в цифровую модель и проводить тестирование без физических действий. Как итог, не только сокращается время создания конкурентоспособного продукта и минимизируются затраты на его проектирование, но и появляется возможность вывести продукт на рынок раньше конкурентов.

Особенности жизненного цикла продукта в цифровой среде. Жизненный цикл продукта – совокупность процессов, которые выполняются с момента выявления потребностей общества в продукте до

⁸ Определение введено Национальной ассоциацией перспективных производственных технологий США

тех пор, пока эти потребности не будут удовлетворены, а продукт не будет выброшен.

Таблица 2 – Ключевые отличия традиционного и передового производств

Традиционное производство	Передовое производство
Низкий уровень автоматизации	Высокий уровень автоматизации
Низкая производительность труда	Высокая производительность труда
Контроль и управление затруднены	Удешевление конечной продукции
Низкая скорость передачи и обработки информации	Доступ к актуальной информации в режиме реального времени для всех подразделений информации
Длинные производственные циклы	Сокращение производственных циклов
Медленная адаптация к изменениям	Максимальная гибкость
Невозможность изготовления сверхсложных изделий	Возможность изготовления сверхсложных изделий
Нормирование брака	Минимизация брака
Выпуск типовой продукции	Возможность массовой кастомизации

PLM (Product Lifecycle Management) – управление жизненным циклом продукции.

Основные стадии жизненного цикла изделия – проектирование, производство, техническая эксплуатация, утилизация. При более подробном рассмотрении выделяют от 11 до 13 стадий ЖЦ. Например:

1. Маркетинг и изучение рынка (CRM, Customer Relationship Management).
2. Проектирование и разработка продукта (CAПР, CAE, CAD, CAM, PDM).
3. Планирование и подготовка производства (MES, PDM).
4. Закупка материалов и комплектующих (SCM, PDM).
5. Производство или предоставление услуг (АСУП, АСУТП, ERP, MRP, MRP II, SCM MES, PDM).
6. Упаковка и хранение (WMS, PDM);
7. Реализация (CRM, PDM).
8. Установка (монтаж) и ввод в эксплуатацию (CRM, PDM);
9. Техническая поддержка и обслуживание (PDM).
10. Послепродажное обслуживание (техобслуживание, ремонт и эксплуатация) деятельность или эксплуатация (PDM).
11. Утилизация и переработка (PDM) [58].

Управление жизненным циклом продукции является сложной задачей и решается с помощью широкого спектра автоматизированных систем управления. Аббревиатуры некоторых из них приведены в скобках после названия того или иного этапа жизненного цикла.

1.5 Особенности развития технологий в условиях цифровой экономики

Глобализация рынков, конкуренция, быстрое развитие наукоемких технологий и инноваций, появление сложных научно-технических проблем требуют от отрасли значительно более быстрых темпов развития, предельно коротких циклов разработки, низких цен и высокого качества продукции. Спрос на сложные и многофункциональные инженерные изделия стимулирует непрерывные изменения как самих изделий, так и технологий их изготовления - средств оптимизации процессов разработки, производства и управления.

Ответом на этот вызов являются передовые производственные технологии (ППТ) – сложный комплекс многопрофильных знаний, технологий, основанных на знаниях, и систем интеллектуальных ноу-хау, полученных в результате долгосрочных и дорогостоящих исследований, успешного применения концепций открытых инноваций и передачи передовых технологий, основанных на знаниях.

Передовые производственные технологии включают в себя:

- цифровое проектирование и моделирование;
- новые материалы;
- аддитивные технологии;
- гибридные и CNC-технологии;
- промышленная сенсорика;
- робототехника;
- ИСУП (информационная система управления предприятием);
- BigData;
- индустриальный Интернет;
- виртуальная и дополненная реальность;
- экспертные интеллектуальные системы и искусственный интеллект.

Использование передовых производственных технологий позволяет повысить качество существующей продукции или создать новое поколение сложных изделий со следующими характеристиками:

- количество и разнообразие компонентов;
- соответствие различным техническим требованиям;
- время (кратчайшие сроки), затрачиваемое на разработку;
- экономическая эффективность;
- соответствие экологическим нормам и т.д.

Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies. Американская компания Gartner известна своим анализом развития современных цифровых технологий. В своих отчетах компания использует Hype Cycle, полезное графическое представление, которое показывает не только текущий уровень технологической готовности, но и общую логику развития

с точки зрения взаимодействия между технологией, обществом и промышленностью.

Кривая Gartner имеет пять секторов:

1. «запуск технологии»;
2. «пик завышенных ожиданий»;
3. «пропасть разочарования»;
4. «склон просвещения»;
5. «плато продуктивности».

Ключевыми технологиями для наблюдения являются технологии социальной дистанции, сложные предприятия, проекты, основанные на искусственном интеллекте, дифференцированная конфиденциальность и датчики, способные к биологическому разложению.

Компания Gartner определила пять новых тенденций, которые будут стимулировать технологические инновации в следующем десятилетии:

1. Цифровой я (Digital me). Технологии все больше интегрируются с людьми и создают новые возможности для цифрового представления личности, такие как цифровые паспорта и технологии социальной дистанции. Цифровые двойники – это модели людей, которые могут представлять их как физически, так и в цифровом виде.

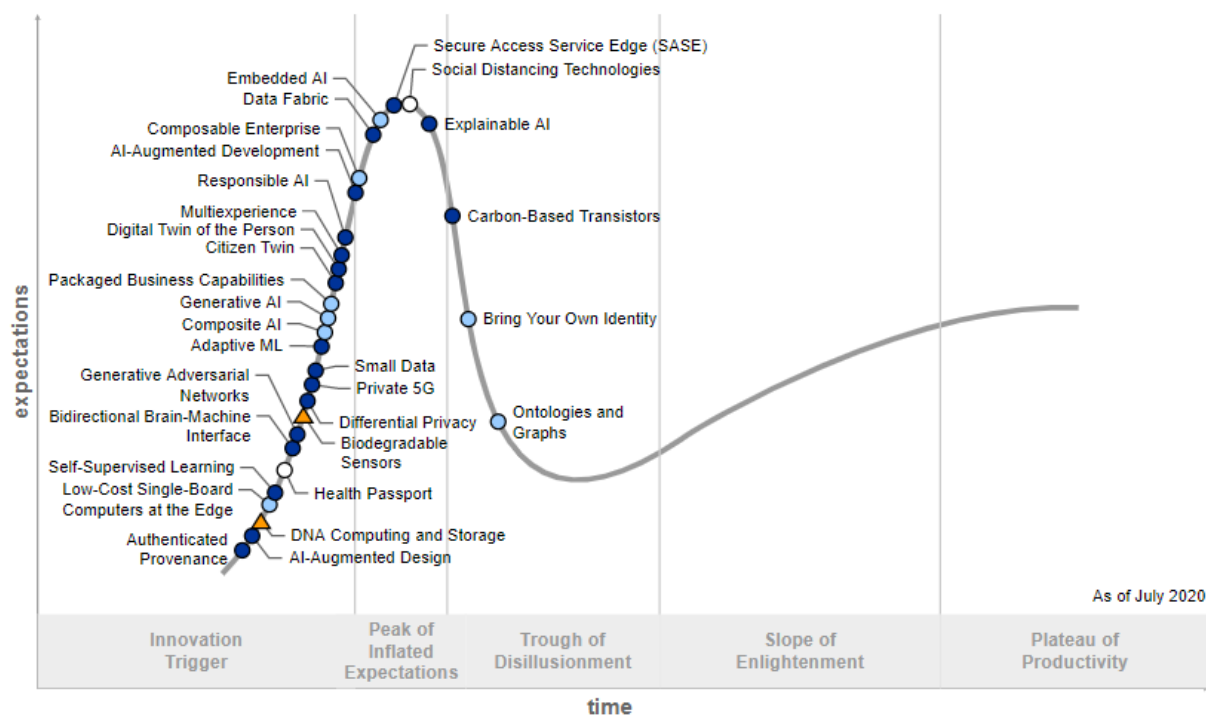
2. Композитные архитектуры (Composite architectures). В условиях быстрых изменений и децентрализации компании должны перейти к более гибкой архитектуре. Композитная архитектура состоит из бизнес-модулей, построенных на гибкой «сети передачи данных». Это позволяет предприятию быстро реагировать на меняющиеся потребности бизнеса.

3. Формативный искусственный интеллект (Formative AI). Это ряд новых технологий в области искусственного интеллекта и связанных с ним технологий, которые могут динамически изменяться в зависимости от меняющихся ситуаций. Некоторые из этих технологий используются разработчиками приложений и UX-проектировщиками для создания новых решений с использованием инструментов на базе ИИ.

4. Алгоритмическое доверие (Algorithmic trust) – модели доверия, основанные на ответственных органах, заменяются алгоритмическими моделями доверия, которые обеспечивают конфиденциальность и безопасность данных, источника активов и личности людей и вещей.

5. За пределами кремния (Beyond silicon). Закон Мура гласит, что количество транзисторов на интегральной схеме удваивается каждые два года. По мере того, как технология приближается к физическим пределам кремния, разрабатываются новые материалы с более высокими эксплуатационными характеристиками, чтобы сделать технологию более быстрой и компактной.

На рисунке 6 представлены ключевые цифровые технологии, которые находятся на стадии разработки и ожидаются для использования в ближайшем будущем.



Plateau will be reached:

○ less than 2 years ● 2 to 5 years ● 5 to 10 years ▲ more than 10 years ✗ obsolete before plateau

Рисунок 6 – Новые технологии на кривой Gartner
(источник Gartner, 2020)

6-D архитектура развития технологий. Когда речь заходит о цифровых технологиях, невозможно не упомянуть о «подрывных» технологиях (Disruptive technology). Данным термином принято называть технологии, которые способны радикально изменить существующий рынок и изменить статус-кво в конкретной отрасли. Чтобы лучше понять его значение, можно взглянуть на модель развития технологии – 6D-архитектуру развития (рисунок 7), которая описывает шесть основных этапов развития цифровых технологий.

Первый этап непосредственно связан с «Цифровизацией» технологии – внедрением новых решений по использованию цифровых сигналов и информации. Как только что-то в реальном мире становится цифровым, исчезают физические ограничения и появляются новые способы коммуникации с помощью технологий. Вторым этапом является «недооценка» новых возможностей, предоставляемых цифровым отображением той информации, которая ранее была представлена иным образом. Однако, с течением времени, развитие нового подхода демонстрирует значительный прирост эффективности технологии [21]. Эту фазу часто называют «Прорывом».

Первые три шага являются самыми важными для достижения технологического лидерства в рамках определенной отрасли. Это делает еще более важным своевременную замену этих процессов.

Со временем эта технология будет принадлежать все большему числу компаний. Появляются варианты и аналоги, что всегда приводит к значительному снижению цены. Эта стадия называется «Демонетизация».

Появление универсального устройства также отражает фазу «Дематериализации», когда речь заходит об объединении различных технологий в один продукт. Завершающим этапом является «демократизация» технологии, что означает ее распространение – она становится привычной и обыденной [21].



Рисунок 7 – «6-D архитектура» развития технологий
(Источник: СПбГПУ)

1.6 Технологические тренды развития цифрового маркетинга

Цифровой маркетинг (digital marketing) – инструмент обмена ценной информацией по распространению, пользованию и продвижению товаров и услуг, работающий на основе сети Интернет и цифровых коммуникативных технологиях.

Цифровой маркетинг предназначен для сбора, анализа, применения точных объективных сведений о целевой аудитории, на которую ориентируется продавец при предложении своего продукта. Цифровой маркетинг имеет способность на базе анализа представлять аналитику по продвижению каких-либо товаров и услуг.

Существует несколько инструментов диджитал маркетинга, однако идеального и универсального на сегодняшний день нет. Диджитал

маркетинг требует значительных временных затрат для достижения цели по продвижению товара или услуги. Сложностью внедрения и использования диджитал маркетинга является необходимость непрерывного поиска новых каналов продвижения, систематического мониторинга и анализа статистических данных по использованию уже реализуемых инструментов. Необходимо постоянно менять стратегию продвижения и искать новые. Данный подход содержит в себе большие финансовые и трудовые затраты. Кроме того, диджитал маркетинг требует определенного набора компетенций со стороны реализующего персонала, но при грамотном подходе способен принести хорошие результаты и сыграть решающую роль в маркетинге продукта или услуги.

Цифровой маркетинг на сегодняшний день получил несколько тенденций развития. Во-первых, интернет. Информацию о практически любом продукте на данный момент можно получить бесплатно, она доступна и обладает достаточной полнотой.

Во-вторых, мобильные сети и устройства. Мобильные устройства позволили получить широкий охват аудитории и сделали возможным оставаться на связи круглосуточно.

В-третьих, cloud computing. Применение облачных технологий не обошло стороной и цифровой маркетинг, предоставив возможность хранить и обрабатывать большое количество информации и расширить возможность применения мобильных приложений. Рассмотрим более подробно тенденции цифрового маркетинга.

Мобильный маркетинг – это использование мобильных устройств целевой аудитории, направленное на распространение информации и продвижение предлагаемого продукта при помощи сети интернет, смс-сообщений, социальных сетей и мессенджеров.

Мобильный маркетинг позволяет персонализировать информацию о продукте или услуге и обратить точечное внимание своего потенциального потребителя путем создания контента.

На сегодняшний день, согласно статистике eMarketer, использование мобильных устройств по сравнению с настольными ПК выросло почти на 20 % (55,7 млн). А по оценкам Adweek, 80% пользователей мобильных устройств непрерывно используют их около 2 часов в день. Данная тенденция распространяется на большинство развитых стран, включая Россию.

Облачные технологии также прочно внедрились в цифровой маркетинг, как и в другие сферы деятельности. Основным преимуществом облачных технологий является возможность хранить и обрабатывать практически бесконечное количество информации. Кроме того, «облако» позволяет обеспечить доступ к этой информации с множества устройств и из любой точки мира в любое время суток. Такие возможности обеспечивают маркетологам одну из важнейших составляющих –

своевременность. Именно поэтому облачные технологии стали тенденцией цифрового маркетинга.

К современным технологиям также можно отнести применение маркетинговой автоматизации. Как было сказано ранее, цифровой маркетинг – довольно эффективный инструмент продвижения, однако, включает в себя большое количество трудоемких задач. Именно поэтому автоматизация необходима в диджитал маркетинге.

Автоматизация маркетинга – это точная автоматизация бизнес-процессов, основанная на облачных технологиях, позволяющая сократить время, затрачиваемое на выполнение базовых задач. Существует большое число платформ по автоматизационному маркетингу, например, Marketo.

Применение входящего маркетинга также основано на облачных технологиях. Маркетинг зарождался с модели исходящего маркетинга – предложение со стороны продавца или производителя (реклама, выставки, обзвон целевой аудитории, рекламные листовки и брошюры), однако с появлением цифрового маркетинга и облачных технологий актуальность приобрел входящий маркетинг. Видеоблогинг, онлайн-уроки, вебинары, контентные социальные сети – все это результат применения облачных технологий в цифровом маркетинге.

Облачные технологии позволяют производить вычисления не только привлеченной аудитории, но и аналитику потенциальных клиентов или потребителей. Яркими примерами являются Яндекс и Google аналитика. Ранее аналитика базировалась на отслеживании журналов посещений веб-сайтов, но появление облачных вычислений устранило необходимость применения такого подхода.

Цикл продаж продукта в зависимости от специфики продукта или рынка может иметь различный временной период. Отслеживание и управление различными процессами цикла – трудоемкая, сложная, но обязательная задача. Поэтому применение облачных технологий при решении этих задач не заставило себя долго ждать. Они позволяют обеспечить целые системы управления интернет-сайтами, отслеживать посещения веб-ресурсов, различные действия посетителей, обеспечить постоянный контакт с аудиторией и напоминать о своем продукте или услуге автоматически.

Далее рассмотрим смежное с цифровым маркетингом понятие. Интернет-маркетинг (internet marketing) – это единовременное применение различных инструментов и технологий продаж в сети интернет, направленных на привлечение внимания и предложение продукта или услуги потенциальной аудитории с целью продажи.

Основной задачей интернет-маркетинга является максимизация числа потенциальных потребителей посредством использования знаний об уже привлеченной аудитории.

Существует множество ресурсов для продвижения и инструментов интернет-маркетинга. Их совокупное применение обеспечивает высокую результативность маркетинговых действий и широкий охват аудитории, а также повышает лояльность потребителей.

Наиболее популярные инструменты интернет-маркетинга на сегодняшний день:

- SEO-оптимизация (продвижение в поисковых системах);
- e-mail-рассылка;
- реклама в социальных сетях;
- контекстная реклама;
- баннерная реклама;
- арбитраж трафика.

1.7 Основные инструменты цифрового маркетинга

Цифровой маркетинг (digital marketing) – интерактивный маркетинг взаимодействия, основанный на применении информационно-коммуникационных технологий в первую очередь, связанных с Интернетом, для создания, коммуникации, доставки и обмена предложениями, которые имеют ценность для покупателей, пользователей, партнеров и общества в целом⁹.

Основными инструментами digital-маркетинга являются:

1. Контент-маркетинг;
2. Email-маркетинг;
3. SMM;
4. Таргетированная реклама;
5. Контекстная реклама;
6. Медийная реклама;
7. SEO;
8. Партнерские программы;
9. Сайт компании;
10. Аудио и видео-реклама;
11. Нативная реклама;
12. Реклама в мобильных приложениях.

Рассмотрим каждый инструмент в отдельности.

Контент-маркетинг – это стратегический маркетинговый подход, направленный на создание и распространение ценного, актуального и последовательного контента для привлечения и удержания четко определенной аудитории. Задача технологии – побудить потребителя к целевым действиям, вовлечь его в конверсионный сценарий. Контент-

⁹ Современные аспекты маркетинга. Монография / под ред. В. А. Дуболазова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 439 с.

маркетинг – это информация, полученная потенциальным покупателем в нужное время и в нужном месте.

Email-маркетинг является традиционным инструментом и заключается в рассылке актуальной информации о продукте при помощи электронной почты представителям целевой аудитории. Данный вид коммуникации способствует укреплению лояльности потребителей и росту продаж, а также дает возможность оперативно собирать мнения ЦА.

SMM (Social Media Marketing) – это вид интернет-маркетинга, использующий преимущества социальных сетей в качестве инструмента продвижения бренда, приумножения аудитории, привлечения трафика на веб-сайт и повышения продаж.

Таргетированная реклама (или таргетинг) – это способ продвижения в интернете, который позволяет транслировать объявление определенной целевой аудитории с конкретными критериями (пол, возраст, место проживания и т.д.) в социальных сетях с целью более эффективного использования рекламного бюджета компании и получения от рекламных кампаний максимальной выгоды.

Контекстная реклама – это объявления в текстовом формате или в виде баннеров, которые показываются в зависимости от поисковых запросов, интересов или поведения в социальных сетях пользователя. Данный вид рекламы показывается в поисковых системах и на сайтах, установивших блоки контекстной рекламы на своих страницах.

Медийная реклама – это объявления в графическом, видео-, звуковом и текстовом форматах, которые нацелены на привлечение аудитории через воздействие на их эмоциональное восприятие. Можно выделить следующие виды медийной рекламы:

- офлайн-реклама (наружная и внутренняя реклама, объявления в печатных изданиях и реклама на ТВ);
- баннеры (графические, тизерный блог, текстово-графический блок, слайдер, rich-media, expandable, полноэкранные);
- текстово-графический блок (объявления, которые пользователь видит в боковой колонке, например, социальной сети);
- видеореклама (In-stream, TrueView Video Discovery, объявления-заставки, Out-Stream);
- брендинг (чаще можно отнести к баннерной рекламе, но также встречаются рекламные креативы, которые выходят за рамки формата баннеров).

SEO (Search Engine Optimization, поисковая оптимизация) – это комплекс мер по всестороннему развитию сайта для продвижения его позиций в результатах выдачи поисковых систем. Цель данного инструмента – увеличение трафика сайта и дальнейшее получение дохода.

Партнерские программы (или партнерский маркетинг) – это метод продвижения в сети, заключающийся в сотрудничестве с компаниями,

которые работают в той же отрасли, но не конкурируют друг с другом. Данный инструмент применяется с целью увеличения лояльности, узнаваемости бренда, привлечения новой аудитории.

К видам партнерского маркетинга относятся:

- оплата за клики (CPC, Cost Per Click) – оплата производится за каждый клик по объявлению;
- оплата за показы (CPV, Cost Per View) – оплата производится за 1000 показов объявления;
- оплата за целевое действие (CPA, Cost Per Action) – оплата производится за полезное действие, совершенное привлеченным пользователем (покупка товара, подписка на рассылку и т.д.).

Сайт компании – один из основных инструментов маркетинговых коммуникаций. Целевой аудиторией сайта, наряду с потребителями, выступают партнеры, акционеры, СМИ и другие посетители, заинтересованные в получении информации о компании. Также сайт выступает как инструмент формирования имиджа компании и производимого товара, повышения узнаваемости бренда. Основным показателем эффективности сайта является конверсия.

Аудио и видео-реклама – инструмент воздействия на потенциальных потребителей, направленный на создание имиджа, продвижение товаров (услуг) и, как следствие, повышения продаж. Преимуществом такой рекламы является охват широкой аудитории.

Нативная (естественная) реклама – это интересный и полезный контент для конкретной аудитории, который не продвигает продукт напрямую. Такая реклама воспринимается как часть просматриваемого сайта, то есть не идентифицируется как реклама и не вызывает отторжения у пользователей.

У нативной рекламы бывают следующие форматы:

- «инфид» (нативная реклама в ленте новостей, представлена в виде спонсируемых постов, которые не нарушают формат социальной сети);
- рекомендованный контент (обычно находится в разделе «читайте также»);
- спонсорский контент (материал с пометкой «спецпроект», «по заказу...», «спонсор» и т.д.).

Реклама в мобильных приложениях – это реклама, которая встраивается в мобильные приложения и игры, направленная на повышение узнаваемости бренда и привлечения аудитории. У данного инструмента есть некоторые минусы: некоторые пользователи готовы платить за отсутствие рекламы, при случайном нажатии на рекламу в игре или приложении, тратится бюджет компании.

1.8 Цифровой след как источник данных для осуществления маркетинговой деятельности

Цифровой след – это информация о человеке, которая остается в Сети после его пребывания в цифровом пространстве. Эта информация хранится в виде cookie.

Цифровой след обеспечивает формирование базы данных о работе кого-либо в Сети. Источниками цифрового следа являются:

- фотографии (дата и время съемки, географические координаты и адрес места съемки и т.д.);
- торговые сети (информация из чека, данные покупателя, дата, информация о купленном товаре и т.д., на основе которых можно проанализировать поведение покупателя);
- фитнес-браслеты (анализ геотрекеров дает понимание того, как перемещаются люди);
- социальные сети (информация из профиля, анализ изображений, анализ лайков и т.д.);
- специализированные сервисы, государственные сервисы (база недействительных паспортов, база судебных приставов, федеральная налоговая служба и т.д.);
- смартфон (приложения магазинов, сервисов, систем лояльности, банковские приложения, СМС, мессенджеры, навигационные системы и т.д.).

На основе цифрового следа, социально-демографических и других характеристик социальных сетей создается цифровой портрет потребителя. Цифровой след играет ведущую роль в цифровом маркетинге на B2C рынке. Информация из социальных сетей используется для таргетированной рекламы, на основе анализа поисковых запросов и поведения в социальных сетях выстраивается контекстная реклама. Таким образом, для проведения эффективной рекламной кампании в условиях цифровой среды обязательно нужно использовать цифровой след и BigData.

Индекс цифрового развития маркетинга Gartner Digital IQ Index Score представляет собой отраслевое исследование, на основании которого бренды могут сравнивать свои цифровые показатели и показателями конкурентов в отрасли.

Показатели сравниваются по следующим параметрам: социальные сети (как каналы продвижения), способы покупки, веб-сайты (каким образом на них попадают), каналы цифрового маркетинга (через которые происходит поиск). На основе полученных данных можно проанализировать производительность и цифровую компетентность и провести конкурентный бенчмаркинг. На рисунке 8 приведен пример средних индексов в отрасли «Еда и напитки».

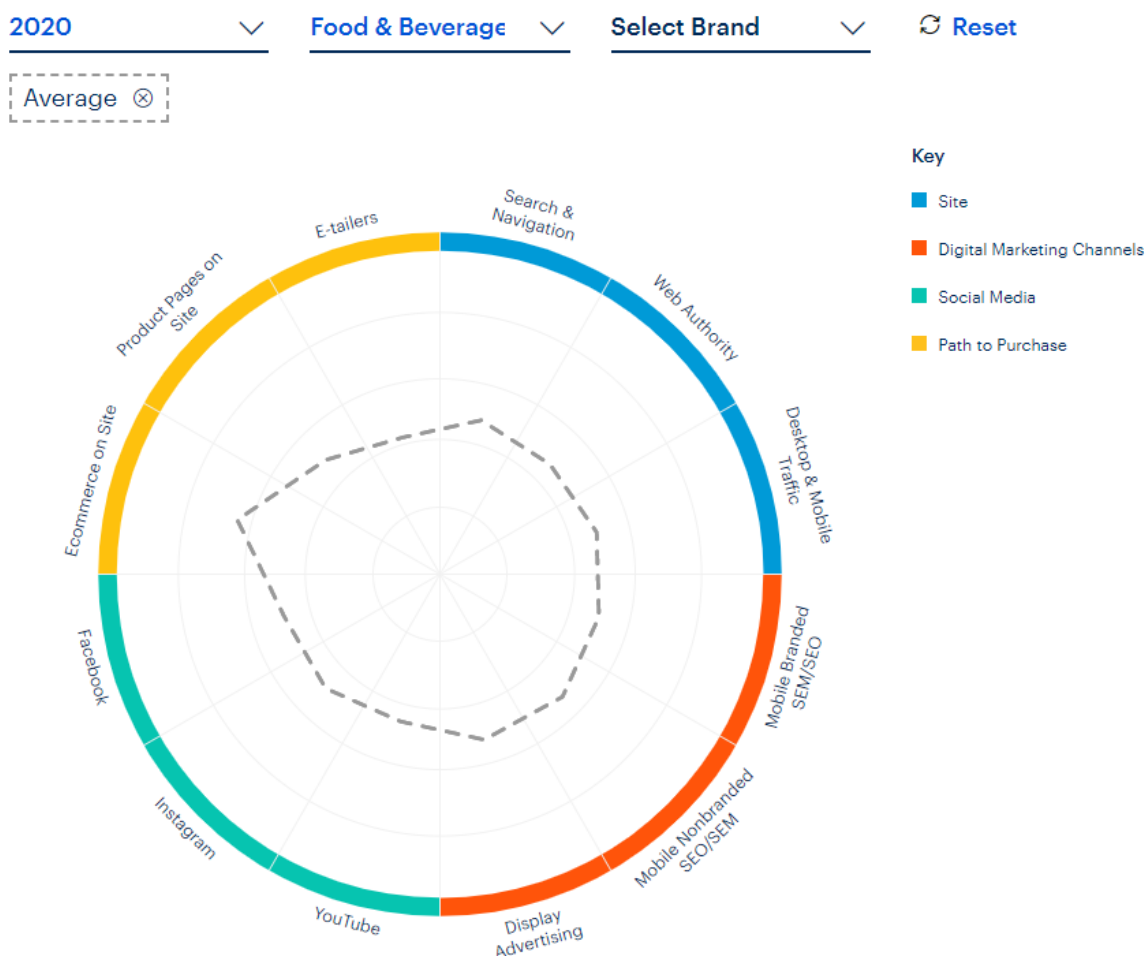


Рисунок 8 – Индексы Gartner Digital IQ Index Score в отрасли «Food & Beverages» (Источник: Gartner)

Из рисунка видно, что более предпочтительным способом покупки еды и напитков является покупка через сайт; продвижение продукта производится в большей степени через Instagram; на сайты данной отрасли переходят через поисковые запросы, а основной трафик данных сайтов с – мобильных устройств и ПК; каналы цифрового маркетинга (медийная реклама, SEO/SEM) используются в равной степени.

Компания Gartner провела сравнительный анализ брендов на основе их стратегий цифрового обслуживания клиентов. Это включает внедрение функций самообслуживания, таких как страницы FAQ и чат-боты, в сравнении с такими вспомогательными каналами, как живой чат и использование Twitter. В этом году 118 брендов были отображены на двухмерной сетке в одном из четырех квадрантов: «Лидеры», «Держатели рук», «Установить и забыть» или «Отстающие».

На рисунке 9 приведена стратегия обслуживания клиентов универмагов за 2020 год.



Рисунок 9 – Стратегия обслуживания клиентов универмагов за 2020 год
(Источник: Gartner)

Проанализировав рисунок, можно сделать вывод, что лидеров, у которых развиты оба вида обслуживания, в данном секторе нет, 4 универмага – в числе отстающих, большинство предпочитают осуществлять поддержку через вспомогательные каналы, меньшинство предпочитают самообслуживание.

Для сравнения контента приложений и маркетинговых показателей Gartner отслеживала как розничные компании, так и бренды DTC. Затем бренды были выстроены по двухмерной сетке, основанной на надежности их функций iOS-приложений в сравнении с платным маркетингом с помощью iOS App Store, внутрикорпоративных рекламных сетей и поиска Google, а также рекламных баннеров приложений на мобильных сайтах брендов.

На основе этого анализа бренды были размещены в различных квадрантах: «Лидеры», «Сначала контент», «Сначала маркетинг» и «Отстающие».

На рисунке 10 представлена сравнительная диаграмма контента приложений и эффективности маркетинга в секторе «Универмаг».

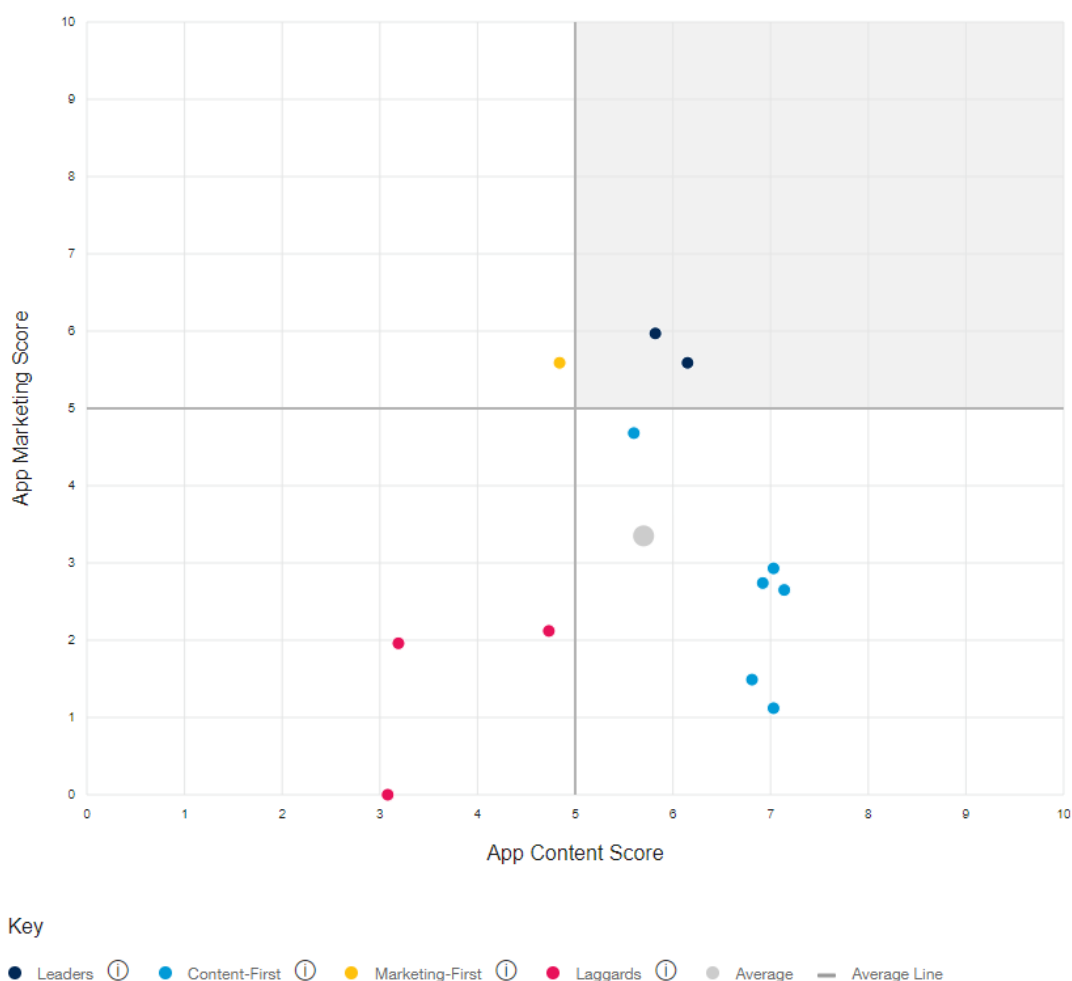


Рисунок 10 – Контент приложений и эффективность маркетинга в секторе универмагов (*Источник: Gartner*)

Данный рисунок демонстрирует, что в этом секторе присутствует два лидера, которые на хорошем уровне поддерживают и контент, и маркетинг. Однако присутствуют и отстающие, которые не занимаются ни контентом, ни маркетингом. Подавляющее большинство развивают контент, но не занимаются маркетингом приложений, в то же время компаний, которые занимаются только маркетингом, почти нет.

В 2018 году для сравнения data и targeting компания Gartner построила двухмерную сетку (рисунок 11), основанную на степени, в которой бренды собирают данные и соответствующим образом используют эту информацию.



Рисунок 11 – Сбор данных и таргетированная реклама в секторе универмагов (*Источник: Gartner*)

По оси X расположена шкала оценки того, насколько эффективно осуществляется сбор данных, а по оси Y расположена шкала оценки эффективности таргетированной рекламы.

Проанализировав рисунок, можно увидеть, что в данном сегменте присутствует 2 лидера, которые хорошо и собирают информацию, и используют ее. Также присутствуют 2 отстающих, у которых меньше 5 баллов по обоим параметрам. Большинство компаний эффективно используют таргетинг, и только одна компания эффективно осуществляет сбор данных.

В 2019 году компания Gartner исследовала, насколько эффективно работают инфлюенсеры с разным количеством подписчиков, и разделила их на: «адвокат» (меньше 5 тыс. подписчиков), «микро» (от 5 тыс. до 25 тыс. подписчиков), «малые» (25 тыс. – 100 тыс. подписчиков), «средние» (100 тыс. – 250 тыс. подписчиков), «большие» (250 тыс. – 1 млн подписчиков), «мега» (1 млн – 7 млн подписчиков), «знаменитости» (больше 7 млн подписчиков). На рисунке 12 изображена взаимосвязь между количеством подписчиков, конверсией и охватом аудитории.

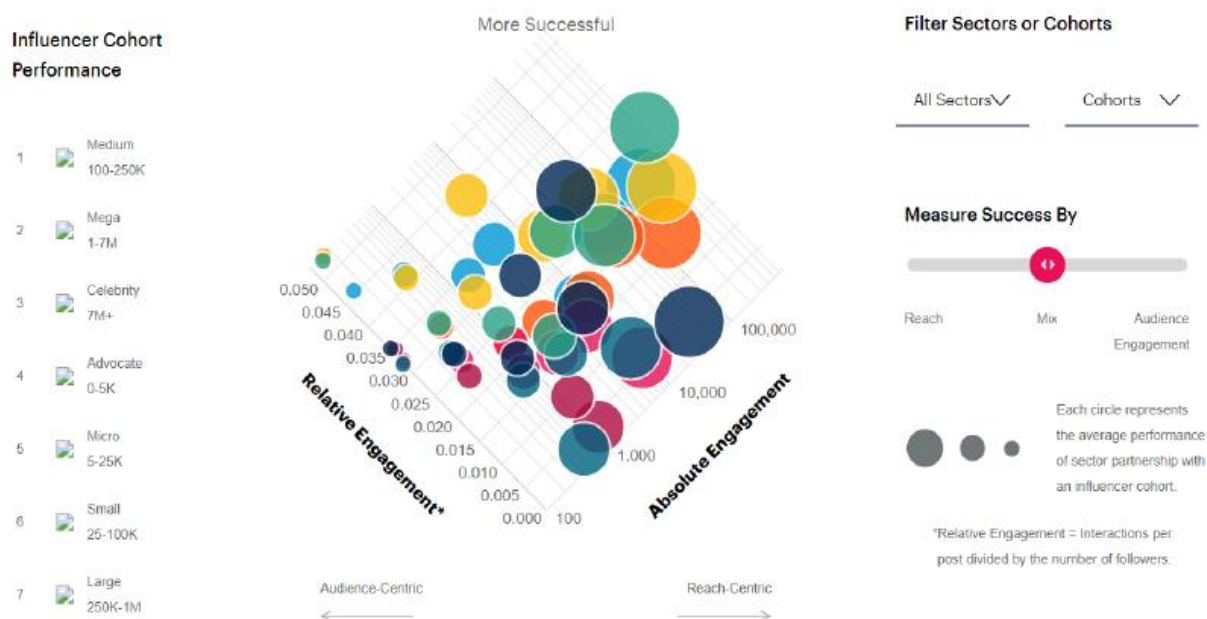


Рисунок 12 – Инфлюенсеры: влияние вовлеченности аудитории и охвата на эффективность маркетинга (Источник: Gartner)

На рисунке мы имеем 3 оси: охват (измеряется в количестве подписчиков), относительный охват (используются коэффициенты конверсии), конкретная группа инфлюенсеров (размер окружности прямо пропорционален количеству подписчиков).

На данном графике мы можем увидеть, что самый высокий коэффициент конверсии имеет группа «Адвокат». Таким образом, имея низкий бюджет, стоит продвигать продукт через «адвокатов». Стоит обратить внимание, что зависимость коэффициента конверсии от количества подписчиков не является линейной, и эффективность работы инфлюенсера в большей степени зависит от отрасли компании.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ ПО РАЗДЕЛУ 1

- 1) Назовите основные этапы развития промышленности, предшествующие становлению концепции Индустрии 4.0.
- 2) Охарактеризуйте экономический потенциал цифровизации и цифровой трансформации
- 3) Перечислите основные мировые тренды в области производства и потребления.
- 4) Приведите ключевые отличия передового производства от традиционного.
- 5) Какие особенности есть у жизненного цикла продукта в цифровой среде?
- 6) Назовите особенности развития технологий в условиях цифровой экономики.
- 7) Какие технологические тренды лежат в основе развития цифрового маркетинга?
- 8) Перечислите основные инструменты цифрового маркетинга.
- 9) Каким «цифровой след» используется для осуществления маркетинговой деятельности?

РАЗДЕЛ 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕНДЫ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

2.1 Мировые тренды в области развития промышленности

Современное общество сталкивается с постоянным ростом скорости обновления знаний и информации, что неизбежно приводит к изменению всех сфер человеческой жизни. Зачастую бывает трудно уследить за подобными изменениями, не имея представления об основных трендах, определяющих текущую и будущую действительность. В рамках данной главы речь, в первую очередь, пойдет о промышленности как ключевом секторе экономики государства и источнике материального производства.

Само понятие *тренд* – это некоторое объективное восприятие наблюдаемой тенденции, демонстрирующее нам изменения, которые могут оказать существенное влияние на какой-либо из процессов. Тренды оказывают влияние на продукты, на рынки и на новые технологии.

Говоря о трендах следует понимать, что каждая отрасль промышленности в рамках отдельно взятой страны определяется своими, зачастую уникальными, особенностями и тенденциями развития. Во многом это обусловлено социальным и научно-техническим уровнем развития, государственной политикой и культурной спецификой, а также множеством других факторов, определяющих жизнь страны [21].

В качестве основных мировых трендов развития промышленности можно выделить следующие:

- рост сложности производства и производимой продукции;
- цифровизация производства и использование технологии «цифровых двойников»;
- смещение «центра тяжести» на этап проектирования и разработки;
- сокращение времени на принятие решений (T2D), реализации проектов (T2E) и выпуска решения на рынок (T2M);
- массовая кастомизация продукции;
- промышленность приобретает новое свойство – высокотехнологичность.

Существование сектора промышленности обусловлено потребностями общества и задачами, на решение которых нацелен создаваемый продукт. В свою очередь, потребности общества со временем претерпевают изменения, заставляя промышленность развиваться и решать новые более сложные задачи. Ярким примером служит привычный для нас автомобильный транспорт, успешно вытеснивший гужевые транспортные средства из повседневной жизни общества. Первый автомобиль с двигателем внутреннего сгорания, трехколесная самоходная коляска Карла

Бенца, безусловно справлялись с ключевой задачей наземного транспорта – транспортировкой грузов и пассажиров. Однако представляют ли они практический интерес в современном мире?

На сегодняшний день мы предъявляем гораздо больший набор требований при выборе автомобиля – комфорт, в частности низкий уровень шума и вибраций, мощность, динамические характеристики, безопасность, экономичность, экологичность и множество других требований, определяющих качество данной системы для отдельно взятого потребителя [21].

Обеспечение всех вышеперечисленных характеристик связано с решением множества сложных комплексных наукоемких и мультидисциплинарных задач, требующих все больше времени, ресурсов и знаний. По этой причине одним из основополагающих трендов является постоянный рост сложности производимой продукции и, как следствие, сложности самого производства.

Исследований относительно того, насколько сильно влияет данный тренд на экономику предприятий, недостаточно. Например, немецкое консалтинговое агентство «Roland Berger» констатирует факт, что ежегодно немецкие предприятия теряют до 30 млрд. долларов из-за того, что не могут решить те или иные задачи [21].

По данным агентства «McKinsey», около 75% руководителей предприятий считают отсутствие технических знаний и навыков у руководящего состава сдерживающим барьером развития предприятия. Без понимания того, что происходит в технологиях и технике, а также какие на данный момент существуют тенденции в их развитии и использовании, становится практически невозможно эффективно решить возникающие задачи. В связи с этим подобные компании тратят больше ресурсов и времени на достижение хоть какого-то результата.

Говоря о технологиях, считаем необходимым дать определение данной категории. В рамках изучения данного предмета под *технологией* мы будем понимать совокупность приемов и способов обработки и переработки различных сред (материальных и нематериальных ресурсов) с целью придания им новых характеристик, повышающих их ценность в глазах потребителя. Конечным результатом применения технологии является продукт, предназначенный для решения некоторой задачи и удовлетворения определенной потребности. Одним из направлений развития современных производственных технологий является их цифровизация.

Когда речь заходит о цифровых технологиях, нельзя не упомянуть о так называемых «*взрывных*» или «*подрывных*» *технологиях* (Disruptive technology). Данным термином принято называть технологии, появление и внедрение которых способно существенно изменить устоявшийся рынок и перевернуть сложившуюся ситуацию в целых отраслях.

Кроме этого, определяющим является переход к новым «передовым» моделям организации производственного процесса. В современном подходе речь идет о том, что привлечение технологий виртуального моделирования, виртуальных испытаний и суперкомпьютерного проектирования обеспечивает возможность выявления и устранения всех возможных ошибок ещё на этапе конструирования продукции. Смещение основной трудоемкости на данный этап обеспечивает минимизацию количества итераций, связанных с перевыпуском опытных образцов. Таким образом существенно сокращаются затраты, в том числе временные, на доведение продукта до рынка.

Описанные ранее тенденции высокотехнологичной промышленности особенно актуальны в контексте изменения модели потребления и спроса на их продукцию. Массовая кастомизация приходит на смену массовому производству. Если ранее успешная модель работы предприятия подразумевала выпуск абсолютно идентичного изделия малой номенклатуры огромными партиями, то на сегодняшний день рынок нуждается в более широком разнообразии продукции для удовлетворения потребностей всех групп потребителей [44].

Современные потребители нуждаются в персонализированном наборе характеристик изделия. Тенденция, связанная с глобализацией и закономерным смешением идей, культур, вкусов, только способствует формированию потребностей в уникальных продуктах. Современная промышленность столкнулась с новым вызовом – как удовлетворить индивидуальные потребности покупателей и при этом избежать значительного повышения себестоимости производства. Цифровая промышленность является одним из способов ответить на данный вопрос [44].

Поскольку лейтмотивом ключевых трендов цифровой промышленности является экономия времени и ресурсов на разработку сложного продукта в целях достижения определенного уровня конкурентоспособности на мировом рынке, а это напрямую зависит от уровня развития современных прорывных цифровых технологий, предлагаем рассмотреть таковые в следующих параграфах.

2.2 Суперкомпьютеры. Развитие суперкомпьютерных центров. Суперкомпьютерный инжиниринг. Задачи, решаемые с использованием суперкомпьютеров

Произошедшая в XX веке в подавляющем большинстве отраслей замена эксперимента физического на эксперимент вычислительный позволила осуществить революционную смену методологии в развитии естественных наук, инженерного анализа и проектирования. На сегодняшний день вычислительный эксперимент является ядром

технологий математического моделирования самого разного рода объектов, процессов, систем и технологий. Математическая модель (представление посредством математических соотношений реальных объектов с той или иной степенью приближения к действительности) находит широкое применение для работы с объектами в технических, экономических, социальных, медицинских и других отраслях знания. Можно сказать, что математическое моделирование в XX веке превратилось в универсальный инструментарий, которым владеет человечество.

От основ механики к суперкомпьютерам. В процессе развития земной цивилизации для выживания, сохранения и развития общества человек вынужден был решать бесчисленное множество задач. Для решения он изучал окружающий мир через собственные наблюдения, опыт и анализ. Посредством знания основ механики он смог быстрее справляться с решением сложных задач: строить жилища и мельницы, возводить мосты и прокладывать дороги, сооружать плотины и налаживать производства. Посредством знания законов математики человек стал более конкурентоспособным: например, к началу II тысячелетия до н. э. в Древнем Египте математика использовалась в астрономии, мореплавании, землемерии, при строительстве домов, каналов и военных укреплений.

Таким образом, технические устройства и машины, построенные на механических принципах и с использованием математических законов, известны человечеству с незапамятных времен. Например, в военном деле, уже в V веке до н. э. на Пелопонесской войне, армия Афин использовала тараны и катапульты – машины для метания стрел, включая непрерывное метание (полиболы). Уже тогда использовались баллисты (орудия для метания камней и ядер, весом до десятков кг), которые метались на расстояние до 300 метров. Для производства таких «чудовищных» машин требовался точный математический расчет, но ввиду отсутствия такового необходим был физический эксперимент.

Шло время, физический эксперимент становился все сложнее, но одновременно требовалась все более высокая точность. Так возросла необходимость в развитии инженерного анализа. Конец XVIII начало XIX веков ознаменовались внедрением различных изобретений, которые изменили мир производства, например, паровая машина Т. Ньюкомена, дизель Р. Дизеля, физико-математические открытия И. Ньютона, Л. Эйлера, Ж.Л. Лагранжа, Ф. Гаусса, П.Л. Чебышева и др., которые заложили основы для методов математического моделирования.

Настоящим триумфом вычислений стало теоретическое открытие в 1846 г. планеты Нептун англичанином Д. Адамсом и французом У. Леверье. По сути, это была первая очень крупная демонстрация того, что у человечества появляется новый инструментарий изучения природы, – ведь никаким физическим экспериментом, кроме многолетних наблюдений, задачу решить было невозможно. Инженер, конструктор, создатель новой

машины всегда стремится сделать ее обладающей наилучшими свойствами или, как сегодня принято говорить, обладающими оптимальными характеристиками. Но такого оптимального решения возможно добиться только через математический эксперимент с использованием математических технологий.

Многие ученые сходятся во мнении, что математическое моделирование в сегодняшнем виде не могло бы состояться без развития вычислительных систем. По этой причине можно утверждать, что развитие инструментария вычислительного эксперимента тесно связано с достижениями в области создания вычислительных машин. Пусть первые вычислительные системы представляли собой механические и в дальнейшем электромеханические установки с крайне малой производительностью, но это уже было прорывом. В середине XX в. начался революционный процесс, обеспечивающий автоматизацию вычислений. Важным технологическим прорывом стали достижения в создании полупроводников и разработка вычислителей на их основе. Электронно-вычислительные машины (ЭВМ) на основе полупроводниковых микропроцессоров обеспечивали уже сотни тысяч и миллионы арифметических операций в секунду.

В 80-х годах прошлого века сформировалась современная концепция математического моделирования, огромный вклад в этом сыграла российская наука в лице академиков А.А. Самарского (1919–2008 гг.) и О.М. Белоцерковского (1927–2015 гг.), а также других выдающихся ученых.

Возможности современных суперкомпьютеров, а именно их производительность при выполнении математических вычислений, позволяют решать такие классы задач, к которым не могли подступиться исследователи и инженеры предыдущих поколений.

Единого определения для понятия «суперкомпьютер» нет, но мы все же попробуем его сформулировать. В большинстве источников авторство термина «суперкомпьютер» приписывают Джорджу Мишелю и Сиднею Фернбачу, которые в конце 1960-х работали в компании CDC и Ливерморской национальной лаборатории. Со временем данный термин получил более широкую известность благодаря распространенности компьютерных систем Сеймура Крея CDC6600, CDC7600, Cray-1, Cray-2, Cray-3 и Cray-4 [43].

Первым суперкомпьютером считается Cray-1, созданный в 1974 году. С помощью поддержки векторных операций эта супер-ЭВМ достигала производительности в 180 миллионов операций в секунду над числами с плавающей точкой (FLOPS). Крей работал над созданием вычислительных машин, которые по сути становились основными вычислительными средствами правительственных, промышленных и научно-технических проектов, реализуемых в США с середины 1960 годов до 1996 года, и не случайно в то время бытовало содержащее известную долю шутки

определение, согласно которому суперкомпьютером следовало считать любой компьютер, созданный Креем [43].

Часть ученых придерживаются следующего определения: суперкомпьютеры – это компьютеры, включенные в какую-либо редакцию мирового рейтинга пятисот самых мощных машин мира (Тор500). Рейтинг Тор500 ведется с июня 1993 года и обновляется два раза в год (в июне и в ноябре). Для ранжирования вычислительных установок в рейтинге Тор500 используется некая процедура вычисления «реальной производительности» на тестовой задаче (программе) [27].

По одной шутливой классификации Гордона Белла и Дона Нельсона, разработанной в 1989 г., предлагалось считать суперкомпьютером любой компьютер весом более 1 тонны.

Однако наиболее приемлемым, по нашему мнению, является представление *суперкомпьютера* как «сосредоточенной» вычислительной системы, которая имеет производительность на 3–4 порядка выше, чем массово распространенные компьютеры.

Что же касается уровня развития суперкомпьютерных технологий (High Performance Computing – HPC), то он определяется несколькими факторами. В первую очередь – это востребованность таких технологий в научных исследованиях и промышленном производстве. Сюда же относятся и решения общественно значимых социально-экономических задач, задач решения массовых и широкомасштабных коммуникационных проблем, а также широкий круг задач оборонной сферы.

Во вторую очередь, уровень развития и использования суперкомпьютерных или высокопроизводительных вычислительных технологий определяется характеристиками и возможностями современных супер-ЭВМ (суперкомпьютеров). Здесь полезным источником информации является международный рейтинг Топ-500. Проект Топ-500 – это оценка возможностей существующих супер-ЭВМ с целью выявления и описания 500 самых мощных вычислительных систем мира.

Однако следует понимать, что различные супер-ЭВМ содержат в себе целый набор отличных технологических решений, зачастую нацеленных на решение определенного класса поставленных задач. Сравнение суперкомпьютеров по отдельно взятым характеристикам не всегда позволяет получить достоверный результат о реальной производительности подобных систем. Традиционно производительность выступает в качестве количественной характеристики скорости выполнения работы. В случае с суперкомпьютерами производительность оценивается количеством выполняемых операций с плавающей точкой в секунду.

Тем не менее, на сегодняшний день рейтинг Топ-500 является основным источником информации об уровне развития суперкомпьютеров, а измерения производительности для разработки этого списка осуществляются на основе теста Linpack. В соответствии с данным

рейтингом самой производительной системой в 2019 г. являлся суперкомпьютер Summit, разработанный корпорацией IBM для Ок-Риджской национальной лаборатории (США). Однако самым мощным суперкомпьютером в 2020 году в рейтинге Топ-500 стал Фугаку, работающий в Центре вычислительных наук Института физико-химических исследований (RIKEN) в Коббе (Япония). Скорость вычислений данного суперкомпьютера составляет 442.01 петафлопс (10 в 15 степени вычислительных операций с плавающей запятой в секунду). По этому показателю он в три раза быстрее и в три раза эффективнее предыдущего рекордсмена – Summit [27].

Развитие суперкомпьютерных центров требует мощной технологической базы. В соответствии с TOP-500 среди 10 самых производительных систем пять расположены в США. В действительности США являются глобальным лидером в области развития систем высокопроизводительных вычислений. Так, в частности, компания AMD, Cray, Nvidia, IBM, Intel и многие другие - глобальные поставщики технологических решений для современных суперкомпьютеров. В результате этого технологического лидерства суперкомпьютерные центры США обладают наибольшей суммарной производительностью среди стран мира – порядка 669 PFLOPS (табл. 3).

Стоит обратить внимание на то, что страной-лидером по количеству супер-ЭВМ, присутствующих в рейтинге Топ-500 в 2020 г., является Китай – 213 суперкомпьютеров. Для сравнения США обладает 117 суперкомпьютерами, а Россия – двумя. Однако, китайские вычислительные мощности уступают американским и составляют порядка 567 PFLOPS.

По данным за март 2021 г., в Японии заработал самый мощный суперкомпьютер в мире. Таким суперкомпьютером является Fugaku (432 стоек), строительство которого началось в 2014г. в НИИ Riken, с помощью которого планируется осуществить множество проектов, начиная от борьбы с изменением климата и заканчивая открытием новых лекарств. В настоящее время Японская Исследовательская Организация по информатике и технологиям (RIST) уже отобрала 74 исследовательских проекта, которые будут направлены на ускорение исследований борьбы с пандемией COVID-19.

По применению суперкомпьютеров Россия заметно отстаёт от США, Китая, Европы, Японии и других стран. Если в 2018 г. доля России в мировом ВВП составила 1,8 %, то в мировой производительности суперкомпьютеров лишь 0,32 %.

Ныне каждый суперкомпьютер представляет собой уникальную систему, создаваемую одним из «традиционных» игроков компьютерной индустрии (например, IBM, Hewlett-Packard, NEC и другими), которые приобрели множество компаний вместе с их опытом и технологиями.

Компания Cray по-прежнему занимает достойное место в ряду производителей суперкомпьютеров [27].

Таблица 3 – Характеристика суперкомпьютеров в разных странах на ноябрь 2020 года

Рейтинг	Страна	Кол-во систем	Rmax, PFLOPS (производительность)	Кол-во ядер
1	China	214	566,635,422	30,704,256
2	United States	113	668,704,300	15,373,432
3	Japan	34	593,700,080	10,947,524
4	France	18	89,828,330	2,669,472
5	Germany	17	131,048,770	2,664,446
6	Netherlands	15	24,736,650	864,000
7	Ireland	14	23,087,540	806,400
8	United Kingdom	12	34,067,502	1,248,840
9	Canada	12	26,698,060	716,096
10	Italy	6	78,529,000	1,447,536
11	Saudi Arabia	5	35,997,040	1,084,020
12	Brazil	4	10,991,000	214,040
13	Singapore	4	6,596,440	230,400
14	South Korea	3	18,720,660	709,220
15	Taiwan	3	12,622,710	247,952
16	Switzerland	3	26,215,350	581,140
17	India	3	10,953,340	244,488
18	Norway	3	8,023,010	287,232
19	Finland	2	7,095,250	209,728
20	United Arab Emirates	2	9,013,750	142,368
21	Russia	2	9,147,000	163,984
22	Poland	2	5,203,700	119,088
23	Australia	2	10,913,420	261,632
24	Sweden	2	4,771,700	131,968
25	Spain	1	6,470,800	153,216
26	Czechia	1	1,457,730	76,896
27	Morocco	1	3,158,110	71,232
28	Austria	1	2,726,078	37,920
29	Hong Kong	1	1,649,110	57,600

Источник: TOP 500¹⁰

Производительность подобных систем непрерывно растет. В частности, за шесть месяцев 2019 года вычислительные возможности 500 передовых суперЭВМ выросли с 1,56 EFLOPS до 1,65 EFLOPS. По прогнозам различных аналитиков, первые подобные системы могут появиться после 2023 года: ученые США, Евросоюза и Китая готовятся

¹⁰ URL: <https://www.top500.org/statistics/list/>

взять новый исторический рубеж в 1 эксафлоп - 10^{18} в 18 степени операций в секунду.

Что касается места российских суперкомпьютерных систем, отметим, что в перечень Топ-500 в 2019 г. вошли три российских суперкомпьютера Christofari компании Сбербанк (29-е место в Топ-500), «Ломоносов-2» МГУ (107-е место) и суперкомпьютер Главного вычислительного центра Росгидромета (465-е место). Отечественным аналогом международного рейтинга Топ-500 является рейтинг суперкомпьютерных систем СНГ – Топ-50 (табл. 4).

Суперкомпьютерный инжиниринг. В предыдущих параграфах мы затрагивали тему о том, что важной задачей современной промышленности является создание глобально конкурентоспособной и востребованной продукции нового поколения в кратчайшие сроки. Для успешного решения этой задачи необходимы постоянная генерация, применение, накопление и трансфер новых знаний, создание и развитие наукоемких технологий с последующим их объединением в технологические цепочки нового поколения, разработка наукоемких инноваций и создание современных «цифровых» / «умных» производств. Одной из наукоемких технологий среди технологий, обеспечивающих конкурентоспособность продукции нового поколения, является компьютерный инжиниринг (Computer-Aided Engineering) [6].

Понятие «инжиниринг», возникшее вместе с появлением инженерных профессий, означает практическое использование научно-технических знаний для создания систем, устройств, материалов и организации процессов. По мере развития науки расширялась и сфера инжиниринговой деятельности. Научно-техническая революция XX века привела к массовому проникновению инженерного подхода в большинство видов человеческой деятельности и выделению услуг инжиниринга в качестве отдельной индустрии. Как результат, сегодня на мировом рынке профессиональных услуг представлены десятки направлений инжиниринга, включая биоинжиниринг, строительный инжиниринг, химический инжиниринг, финансовый инжиниринг, инжиниринг материалов, промышленный инжиниринг и др [6].

Таким образом, понятие *инжиниринг* – это и область человеческой интеллектуальной деятельности, и процесс, задачей которого является проектирование, создание, сооружение, использование, поддержка, переработка или утилизация концепции, модели, продукта, процесса, системы или технологии для решения конкретных технических задач [6].

Ввиду того, что для термина «компьютерный инжиниринг» нет единой интерпретации, будем считать, что **компьютерный инжиниринг** – это совокупность всех компонентов, предназначенных для эффективного решения сложных научно-технических проблем путем математического и суперкомпьютерного моделирования [6].

Таблица 4 – Топ-10 высокопроизводительных систем в России и СНГ

No	Владелец	Тип компьютера	Число ядер	Rmax, PFLOPS	Rpeak, PFLOPS
1	Сбербанк	Christofari - NVIDIA DGX-2, Xeon Platinum 8168 24C 2.7GHz, Mellanox InfiniBand EDR, NVIDIA Tesla V100 Nvidia	99 600	6,7	8,8
2	Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова	«Ломоносов-2» Xeon E5-2697v3 14C 2.6GHz, Intel Xeon Gold 6126, Infiniband FDR, Nvidia K40m/P-100 T-Platforms	64 384	2,5	4,9
3	ФГБУ «ГВЦ Росгидромета»	CPU: 2x Intel Xeon E5-2697v4, 128 GB RAM	35 136	1,2	1,3
4	Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова	«Ломоносов-2» CPU: 2x Intel Xeon X5570, 12 GB RAM; CPU: 2x Intel Xeon X5570, 24 GB RAM CPU: 2x Intel Xeon X5670, 24 GB RAM CPU: 2x Intel Xeon X5670, 48 GB RAM; CPU: 2x IBM PowerXCell 8i, 16 GB RAM; CPU: 2x Intel Xeon E5630, 12 GB RAM 2x NVIDIA Tesla X2070 CPU: 2x Intel Xeon E5630, 24 GB RAM; 2x NVIDIA Tesla X2070; CPU: 4x Intel Xeon X7560, 512 GB RAM	н/д	0,9	1,7
5	НИЦ «Курчатовский институт»	CPU: 2x Intel Xeon E5-2650v2, 128 GB RAM Acc: 2x NVIDIA Tesla K80 CPU: 2x Intel Xeon E5-2680v3, 128 GBRAM; Acc: 3xNVIDIA Tesla K80 CPU: 2x Intel Xeon E5-2680v3, 128 GB RAM	н/д	0,7	1,1
6	Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого	«Политехник – РСК Торнадо». CPU: 2x Intel Xeon E5-2697v3, 64 GB; RAM; CPU: 2x Intel 2697v3, 64 GB RAM; Acc: NVIDIA Tesla K40; CPU: Xeon E5-2697v3, 128 GB RAM; CPU: 2x Intel Xeon E5-2697v3, 128 GB RAM; Acc: 1x NVIDIA K1; CPU: 2x Intel Xeon E5-2697v3, 128 GB RAM; Acc: 1x NVIDIA K2; CPU: 2x Intel Xeon E5-2697v3, 256 GB RAM Xeon; E5- 2x; 2x Intel	н/д	0,7	1,3

Окончание таблицы 4

7	Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики	CPU: 2x Intel Xeon Gold 6152, 768 GB RAM; Acc: 4x NVIDIA Tesla V100; CPU: 2x Intel Xeon Gold 6152, 1536 GB RAM; Acc: 4x NVIDIA Tesla V100; CPU: 2x Intel Xeon Gold 6152, 768 GB RAM; CPU: 2x Intel Xeon Gold 6152, 768 GB RAM; Acc: 1x NVIDIA Tesla P40	н/д	0,6	0,9
8	Сколковский Институт Науки и Технологий	«ZHORES CDISE Cluster» CPU: 2x Intel Xeon Gold 6136, 192 GB RAM; CPU: 2x Intel Xeon Gold	н/д	0,5	1,0
9	АО «Тинькофф Банк»	«Колмогоров» CPU: 2x Intel Xeon Gold 6154, 384 GB RAM; Acc: 8x NVIDIA Tesla V100	н/д	0,4	0,7
10	МСЦ, РАН	«MBC-10П» CPU: 2x Intel Xeon E5-2690, 80 GB RAM; Acc: 2x Intel Xeon Phi 7110X	н/д	0,4	0,5

Источник: Суперкомпьютеры Топ-50¹¹

¹¹ Статистика: область применения. [Интернет источник] URL: <http://top50.supercomputers.ru/stats/area>

Целью компьютерного инжиниринга является создание глобально конкурентоспособной и востребованной продукции нового поколения в кратчайшие сроки. Вот характерный пример реализации суперкомпьютерного инжиниринга для BMW, когда за 2 недели было решено 17 000 задач. Для компьютерного инжиниринга характерны такие черты, как мультидисциплинарность и надотраслевой характер.

Мультидисциплинарные исследования выступают научной основой надотраслевых технологий: наукоемких компьютерных и суперкомпьютерных технологий, основанных на результатах многолетних меж- / мульти- / трансдисциплинарных исследований, выполняемых десятки лет многотысячными коллективами. Надотраслевые технологии способствуют стремительному распространению и проникновению новых меж- и мультидисциплинарных знаний в новые области («трансдисциплинарные знания»), межотраслевому трансферу передовых технологий (принцип инвариантности технологий) [6].

Задачи, решаемые с использованием суперкомпьютеров. Как известно, нашу первую атомную бомбу группа математиков под руководством Льва Ландау «считала» на арифмометрах. В настоящее время, прежде чем создать реальный автомобиль, самолет, ядерный реактор, лекарство, новый материал, в суперкомпьютере моделируется их цифровой двойник. Его «проигрывают» в разных вариантах, испытывают в разных режимах и выбирают лучший, который и должен стать реальным прототипом будущего изделия [31].

Еще недавно, проектируя автомобиль, конструкторы обязательно разбивали его, направляя в стену, чтобы увидеть, как машина держит удар. Сегодня на компьютерной модели машина врежется в виртуальный тупик. Так, по данным компании Ford, если бы реальные автомобили разбивались о бетонные преграды с одновременным замером необходимых параметров съемкой и последующей обработкой результатов, понадобилось бы от 10 до 150 прототипов для каждой новой модели [31]. При этом общие затраты составили бы от 4 до 60 миллионов долларов.

Очевидно, что компьютерный способ создания и тестирования продуктов дешевле, надежнее и в 2–2,5 раза быстрее традиционного. Современные суперкомпьютеры работают в статистике, криптографии, биологии, физике. Они ставят диагнозы, разрабатывают новые лекарства, предсказывают погоду и пишут сценарии глобальных изменений климата. Уже появились новые направления на стыке информатики и прикладных наук - вычислительная биология, вычислительная химия, вычислительная лингвистика и многие другие [31].

Суперкомпьютеры могут решать проблемы статистики и криптографии; с большей точностью могут помочь в предсказании изменении климата, прогноза погоды и землетрясений, а также нефтяных и газовых месторождений; помогают в расшифровке ДНК; дают возможность

для создания принципиально новых способов вычисления (квантовый компьютер) и обработки информации (искусственный интеллект). Все более важную роль они играют в промышленности. Следует отметить, что все большее применение данные системы находят в сфере государственного управления, финансовом секторе и сфере предоставления услуг.

Суперкомпьютерные системы позволяют реализовывать технологии кластеризации (выделение из исходного множества данных групп объектов со схожими свойствами), обработки разнообразной звуковой и графической информации, работать с математическим описанием самого широкого круга процессов, что способствует принятию решений, оценке и управлению рисками, а также формированию достоверных прогнозов при долгосрочном планировании функционирования разного рода систем. Основные сферы применения суперкомпьютеров в мире можно увидеть на рисунке (рис. 13).

Из рисунка видно, что в мире наибольшее применение суперкомпьютеры находили в 1993 г. в науке и исследованиях, чуть меньше в промышленности, а в 2019 г. акцент сместился на промышленность.

Что касается России, то российские суперкомпьютерные центры используются в науке и образовании, исследованиях, промышленности, производстве, в IT-услугах, финансах, обработке сейсмических данных и прочее (рис. 14).

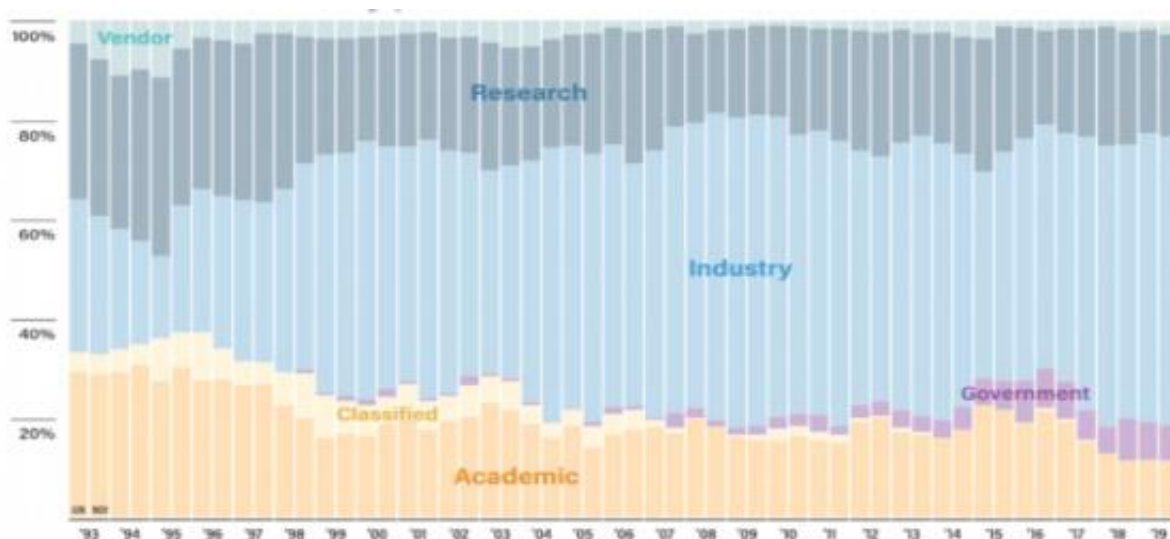


Рисунок 13 – Сферы применения суперкомпьютеров согласно рейтинга Топ-500, 1993-2019 гг.

Российские суперкомпьютерные центры менее ориентированы на решение производственных задач (около 7%) и более на научно-образовательную и исследовательскую деятельность (46% и 24%, соответственно).

Суперкомпьютеры являются эффективным универсальным инструментом для решения множества научно-производственных задач. Безусловно, каждый университет и исследовательский центр нуждается в

подобном вычислительном оборудовании, в особенности если данная организация осуществляет работу в рамках ключевых направлений науки и техники совместно с промышленными предприятиями, а также для достижения стратегических целей и задач в условиях глобализации и гиперконкуренции.



Рисунок 14 – Области применения суперкомпьютеров в России и СНГ, 2019 г. (Источник: Суперкомпьютеры Top-50)

2.3 Новые материалы. Суперсплавы, метаматериалы, наноматериалы и композиты. Цифровизация процесса дизайна материалов

Одним из важнейших драйверов, определяющих развитие всех отраслей промышленности, строительства, медицины и сферы услуг, являются новые материалы. Не случайно их совершенствование стало приоритетным научно-техническим направлением во многих странах. Более того, изменения укладов жизни общества неразрывно связаны с открытием, изучением, освоением и созданием новых материалов. Метафорически, если материалы – это ступени нашей цивилизации, то новые материалы – скоростной трамплин для прыжка в будущую реальность. Очевидно, что неперенным атрибутом современной цивилизации являются новые материалы, активно используемые человеком в разнообразных сферах.

Новые материалы. Для того, чтобы разобраться в данной теме, сначала ответим на вопрос, что такое «материалы»? Материалы – это субстанция, вещество или смесь веществ, используемая для производства, изготовления вещей или преобразования в другие материальные субстанции, объекты и предметы.

Как известно, любые материалы представляет собой соединение различных химических элементов в разнообразной последовательности и пропорциях. В настоящее время насчитывается 118 химических элементов. Современная периодическая система химических элементов

Д.И. Менделеева за последние 50 лет пополнилась семнадцатью новыми (102–118). Девять из них были впервые получены в российском Объединенном институте ядерных исследований в Дубне. Сейчас в крупнейших ядерно-физических центрах мира ведутся работы по синтезу 119-го, 120-го и 121-го элементов, которые назвали «большой гонкой».

Ввиду того, что вариативность химических соединений огромна, вероятность возникновения новых материалов очень высока. Следовательно, существующая масштабная вариативность открывает бесконечный простор для новых открытий.

Для более полного понимания истории происхождения и создания материалов предлагаем изучить эволюцию развития материалов за последние 12 000 лет. Предлагаем также рассмотреть, как менялась общая картина «мира материалов», и проанализировать, какие типы материалов определяли технический и технологический прогресс в разные периоды времени (рис. 15).

На рисунке видно, что в доисторический период человек в основном использовал камень, глину, стекло и природные полимеры, такие как дерево, кожа и волокна растений. Композиты, конечно, также использовались, но в значительно меньшей степени. Это были, в основном, армированные кирпичи и бумага [57].

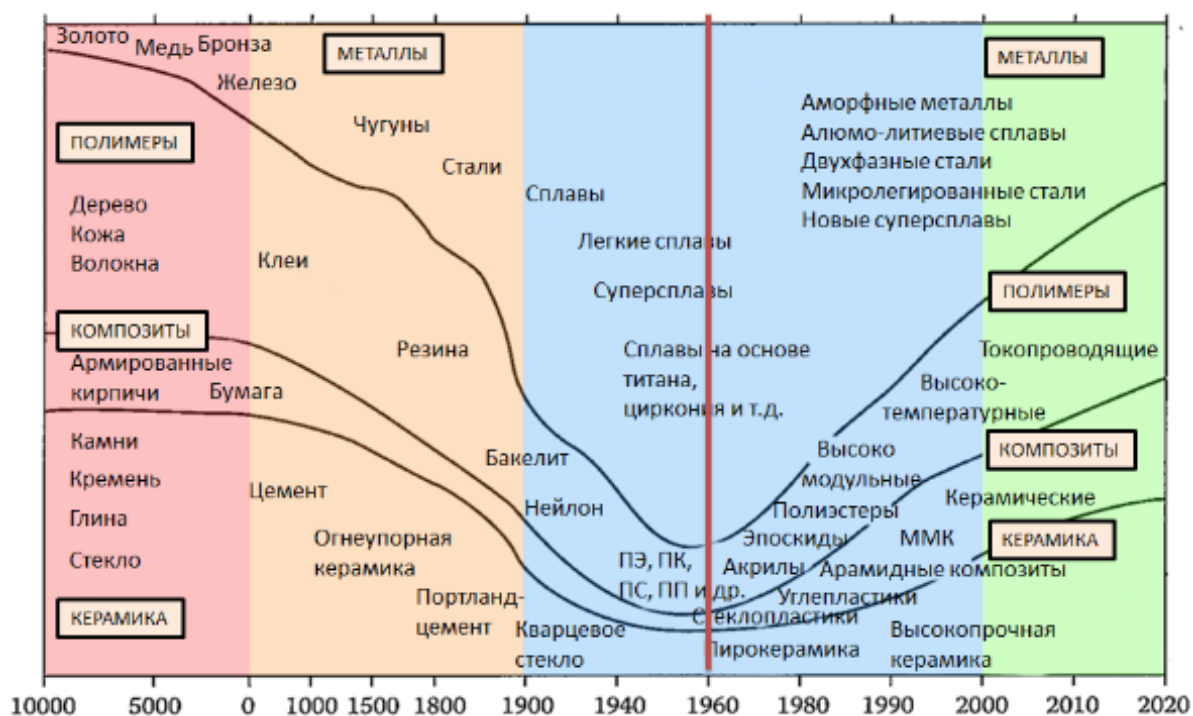


Рисунок 15 – Структура использования материалов на разных этапах развития человечества

Последующее открытие методов добычи меди и бронзы в бронзовую эру, а затем и железа в железный век придало значительный импульс для

развития человеческого общества. В результате потребность в природных полимерах снизилась.

Появление в 1620 гг. технологии производства чугуна, а затем стали и сплавов привело к устойчивому доминированию металлов, которые практически вытеснили из обращения полимеры и керамику.

Начиная с 60-х годов XX века ситуация начала меняться – темпы производства металлических конструкций замедлились, и спрос на металлы в ряде стран заметно упал, тогда как индустрия полимеров и композитов начала стремительно расти и развиваться [57].

Композиционные материалы (композиты, КМ) – искусственно созданные материалы, состоящие из двух или более неоднородных и нерастворимых друг в друге компонентов, соединяемых между собой физико-химическими связями.

Композиты – это неоднородные сплошные материалы, состоящие из нескольких компонентов с чёткой границей раздела между ними. В качестве таких компонентов обычно выступают полимеры, керамика или металлы. Как правило, компоненты, составляющие композит, делят на матрицу (или связующее) и включенные в нее армирующие элементы (или наполнители). При этом и наполнитель, и матрица сохраняют свою идентичность на физическом и химическом уровне, обеспечивая композиту такую комбинацию свойств, которая не может быть достигнута с использованием только лишь одного из компонентов [57].

На сегодняшний день все большую популярность приобретают композиты на основе керамики. Востребованность композитов в современном мире стремительно растет (обратим внимание, что шкала на рисунке нелинейна). Композиты, полимеры и керамика постепенно вытесняют металлы из употребления. Отметим, что история использования человеком композитов восходит к началу развития самой цивилизации.

Проведем краткий исторический обзор по применению композитов. К примерам использования композитов можно отнести:

- производство кирпичей в Древнем Египте: смесь увлажнённой почвы и соломы;
- Великая Китайская стена, состоящая из утрамбованной почвы (матрицы) и ивовых веток (армирующего наполнителя);
- монгольские стрелы для лука из дерева (матрицы) кости и костного клея (армирующий наполнитель);
- Шумерский зиккурат, построенный в XIII в. до н.э., состоящий из высушенной грязи, которая легко разрушается при изгибе, но хорошо сопротивляется сдавливающим силам, плюс солома, имеющая большую прочность при растяжении, но легко мнется, что в комбинации друг с другом дает хорошее сопротивление как растяжению, так и сжатию; и многое другое.

Композиты можно условно разделить на несколько категорий:

- волокнистые композиты, где армирующими элементами являются волокна;
- композиты, упрочненные частицами;
- нанокомпозиты, представляющие материалы, наполненные наночастицами;
- слоистые композиты, структура которых напоминает слоёный пирог, и др. [57]

Среди всех существующих композитных материалов на сегодняшний день наиболее востребованными на рынке российской и зарубежной промышленности являются волокнистые композиты. Основные особенности композитов по сравнению с традиционными материалами [40]:

1. Анизотропия.

Металлические материалы и сплавы, традиционные для машиностроения, обычно демонстрируют одинаковые свойства в различных направлениях, то есть они изотропны.

2. Удельная прочность и удельный модуль.

Удельная прочность – это характеристика прочности материала (то есть его способности выдерживать внешние нагрузки, не разрушаясь). Удельный модуль – это характеристика жесткости материала (то есть его способности выдерживать внешние нагрузки, не меняя существенно образ размер).

Основное преимущество композитов по сравнению со сталями и сплавами - высокие значения удельной прочности и удельного модуля.

3. Особенности проектирования.

Использование композитов позволяет:

- упрочнять конструкцию в наиболее нагруженных местах и направлениях; повышать жесткость конструкции в заданных направлениях;
- изготавливать сложные изогнутые поверхности за одну операцию;
- проектировать конструкции с нулевым коэффициентом теплового расширения.

4. Области применения композитов.

Благодаря своим многочисленным преимуществам композиты применяются практически во всех отраслях современной промышленности, например, [40]:

- 1) Авиация и ракетостроение
- 2) Транспортная индустрия
- 3) Судостроение и морская индустрия
- 4) Строительство
- 5) Ветроэнергетика
- 6) Спорт
- 7) Оборонная промышленность

8) Медицина

9) Потребительские товары

Суперсплавы – металлические сплавы, сохраняющие свои механические свойства при высоких температурах и при других особо сложных условиях.

Суперсплав – это сплав высокой производительности, характеризующийся высокой точкой плавления и имеющий структуру плотно упакованных кубиков.

Приставка «супер» отражает здесь не только выдающиеся характеристики, но и сложную структуру подобных сплавов. При закаливании внутри неупорядоченного сплава бок о бок вырастают кристаллические кубики, и такая структура приводит к очень высокой прочности материала [38].

Началом истории суперсплавов можно считать 1929 г., когда Бедфорд и Пиллинг дополнительно легировали небольшими добавками Ti и Al разработанный ранее жаростойкий хромоникелевый сплав. Введение этих элементов обеспечило существенный прирост сопротивлению ползучести. Интересно, что появление суперсплавов случайно совпало по времени с началом разработки реактивного двигателя. В конце 1930-х годов в Германии и Англии были созданы первые образцы самолетов с турбинными двигателями.

Современная аэрокосмическая техника предъявляет очень высокие требования к используемым материалам. К стандартным требованиям легкости и высокой прочности зачастую прибавляется и жаропрочность. Например, в газотурбинных и ракетных двигателях температура превышает 1000°C, и в этих условиях материалу надо не просто существовать, а работать при экстремальных механических нагрузках (скорость вращения отдельных деталей превышает 100 тысяч оборотов в минуту!).

Обычные металлы и сплавы с такой задачей не справляются. Они начинают размягчаться и «ползти» при температурах, существенно меньших, чем температура плавления. Возникает потребность в новом классе твердых, нехрупких, коррозионно- и износоустойчивых, а самое главное – жаропрочных материалов [38].

Жаропрочные сплавы могут быть на алюминиевой, титановой, железной, медной, кобальтовой и никелевой основах. Наиболее широкое применение в авиационных двигателях получили никелевые жаропрочные сплавы, из которых изготавливают рабочие и сопловые лопатки, диски ротора турбины, детали камеры сгорания и т. п. В зависимости от технологии изготовления никелевые жаропрочные сплавы могут быть литейными, деформируемыми и порошковыми. Наиболее жаропрочными являются литейные сложнолегированные сплавы на никелевой основе, способные работать до температур 1050-1100°C в течение сотен и тысяч часов при высоких статических и динамических нагрузках.

Ещё в начале XX века компанией Haynes были получены патенты на сплавы системы Co-Cr и Co-Cr-W. Эти сплавы, именуемые «стеллитами», использовались вначале для производства режущего инструмента. В 1930-х годах был разработан литейный Co-Cr-Mo сплав для зубного протезирования Vitallium. Аналогичный по составу сплав HS-21 начал использоваться десятилетие спустя в турбонагревателях и газовых турбинах.

Японские исследователи создали суперсплавы на основе кобальта и иридия, которые смогут улучшить характеристики газотурбин и ракетных двигателей. Новые сплавы значительно тверже и более жаропрочны, чем используемые сейчас никелевые суперсплавы.

Температура плавления у сплавов на кобальтовой основе – более высокая по сравнению со сплавами на основе никеля и железа. Такие сплавы характеризуются повышенным сопротивлением термической усталости и имеют хорошую свариваемость, однако являются довольно дорогостоящими.

Переход на эти сплавы позволит увеличить диапазон рабочих температур как минимум на сотню градусов. Не исключено, что на основе кобальта и иридия вместе удастся создать суперсплав с еще более впечатляющими характеристиками [38].

Метаматериалы. Бурный прогресс в области создания структур очень маленьких размеров привёл к появлению так называемых метаматериалов.

Мета – по-гречески означает «за». Мета-материалы – это нечто за пределом материалов, существующих в природе. Свойства метаматериалов существенно отличаются от свойств компонентов, входящих в его состав, и определяется особой структурой компонентов. Например, один из возможных вариантов метаматериалов – это отрицательный и левосторонний коэффициент преломления, который проявляется при одновременной отрицательной диэлектрической и магнитной проницаемости. Вот как это могло бы выглядеть на примере стакана с «разной» водой и трубочкой (рис. 16). Первые два изображения привычны человеческому глазу, тогда как на третьем изображении происходит странная трансформация трубочки – своеобразный захватывающий эффект – это и называется левосторонним (отрицательным) преломлением.

Метаматериалы – это композитные материалы, свойства которых обусловлены не столько индивидуальными физическими свойствами их компонентов, сколько микроструктурой. Термин «метаматериалы» особенно часто применяют по отношению к тем композитам, которые демонстрируют свойства, нехарактерные для объектов, встречающихся в природе [35].



Рисунок 16 – Примеры жидкости с различным коэффициентом преломления

В 1968 г. советский ученый Виктор Веселаго выдвинул гипотезу о существовании материалов с отрицательным показателем преломления. Световые волны в них должны двигаться против направления распространения луча и вообще вести себя удивительным образом, линзы же из этих материалов – обладать волшебными свойствами и непревзойденными характеристиками. Однако у всех известных веществ показатель преломления положителен: за нескольких лет интенсивных поисков Веселаго не нашел ни одного материала с подходящими электромагнитными свойствами, и его гипотеза была забыта. О ней вспомнили лишь в начале XXI века [35].

Благодаря последним достижениям в области материаловедения идея В.Веселаго была возрождена. В середине 1990-х гг. ученые из Центра технологии материалов им. Маркони в Англии занялись созданием метаматериалов, которые состоят из макроскопических элементов и рассеивают электромагнитные волны совсем не так, как любые известные вещества.

Повторим, что метаматериалов в природе не существуют. Это исключительно рукотворные объекты, позволяющие за счет созданной неоднородности их структуры управлять свойствами света и добиваться захватывающих эффектов.

В 2000 г. Дэвид Смит вместе с коллегами из Калифорнийского университета в СанДиего изготовил метаматериал с отрицательным показателем преломления. Поведение света в нем оказалось настолько

странным, что теоретикам пришлось переписать книги по электромагнитным свойствам веществ.

Экспериментаторы уже занимаются разработкой технологий, в которых используются удивительные свойства метаматериалов, с их помощью можно было бы делать микросхемы с наноскопическими элементами и записывать на оптические диски огромные объемы информации [35].

Потенциальное применение мета-материалов охватывает все области, в которых используются электромагнитные излучения от космических систем до медицины.

Работа в сфере нано-фотоники позволяет создавать устройства, гораздо быстрее обрабатывающие информацию, чем существующие компьютеры. Благодаря тому, что мета-материалы обладают отрицательным показателем преломления, они идеально подходят для маскировки объектов, так как их невозможно обнаружить средствами радиоразведки.

На данный момент материаловеды уже создали немало структур материалов, свойства которых не встречаются в природе, хотя и не выходят за рамки физических законов. Вот несколько популярных работ:

- *Супер-линза* – дает возможность видеть сквозь стены – это новый класс искусственных материалов, который демонстрирует сильный магнитный отклик на излучении Тетрагерцового диапазона.

- *Блеф-стена* – она создает иллюзию отсутствия реального объекта. Ворота формируют впечатление что объект существует там, где на самом деле его нет.

- *Анти-зеркало* – при отражении электромагнитной волны оно обращает магнитную составляющую колебаний, но не трогает электрическую.

- Свойства *плаща-невидимки* – это когда мета-материал способен преломлять электромагнитные волны в поток лучей, не отражается от объекта, покрытого метаматериалом, а огибает его и тут же возвращается в исходное положение. Однако на данный момент эффект возможен только в лучах поляризованного света с определенной длиной волны.

Нам же остается только догадываться, какие материалы предстоит ещё открыть и с какими новыми способами применения уже изученных материалов мы столкнемся в ближайшее время.

Наноматериалы. За последние тридцать лет нанотехнологии приобрели важное стратегическое значение для многих стран. Часто нанотехнологии называют направлениями, ведущими к научно-технической революции. К материалам в наносостоянии проявляется огромный интерес в связи с реальной возможностью практической

реализации их уникальных свойств в разнообразных областях науки и техники [19].

Первое упоминание о методах, которые впоследствии назовут нанотехнологией, сделал в 1959 г. американский физик Ричард Фейнман в своей знаменитой лекции «Там, внизу, много места» («There's Plenty of Room at the Bottom»). Р. Фейнман научно доказал, что с точки зрения фундаментальных законов физики возможно создавать материальные объекты прямо из атомов. Он предсказал один из основных методов нанотехнологии, именуемый «снизу-вверх» (bottom-up), в соответствии с которым атомы могут быть перемещены отдельно, механически при помощи манипулятора.

Впервые термин «нанотехнология» в 1974 г. использовал японский физик Норио Танигучи. Он предложил назвать этим термином производство объектов размером порядка нанометров.

В середине 80-х годов XX века работы Глейтера вызвали огромный интерес со стороны научного сообщества, и его метод был взят на вооружение во многих странах, после чего информация о свойствах наноматериалов начала появляться лавинообразными темпами [19].

В 1986 г. американский футуролог Эрик Дрекслер опубликовал свою книгу «Машины создания: грядет эра нанотехнологии» («Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology»), благодаря которой нанотехнология стала известна широкой публике.

Благодаря нанотехнологиям стали широко изучаться и развиваться системы хранения и обработки информации, мобильной связи, теоретическое обоснование и практическая реализация которых в значительной мере принадлежит академику Ж.И. Алферову, удостоенному в 2000 г. Нобелевской премии по физике.

В настоящее время более 50 стран ведут исследования и разработки в области нанотехнологии и не менее 30 стран имеют свои национальные программы в этой области. Например, в США этими вопросами занимаются такие известные фирмы, как Intel, MEMS Industry Group, Sandia National Labs. Фундаментальные исследования по проблемам нанотехнологий и наноматериалов ведутся и в России такими организациями, как РОСНАНО, кластер Сколково [19].

Наноматериалы – материалы, содержащие структурные элементы, размеры которых, хотя бы в одном измерении, менее 100 нм, и обладающие качественно новыми свойствами, функциональными и эксплуатационными характеристиками. Другими словами, это материалы, созданные с использованием наночастиц и/или посредством нанотехнологий, обладающие какими-либо уникальными свойствами, ввиду присутствия этих частиц в материале [19].

По рекомендациям VII Международной конференции по нанотехнологиям (Висбаден, 2004) выделяют следующие виды наноматериалов, представленные на рис. 17.



Рисунок 17 – Виды наноматериалов

Бурный рост микроэлектромеханики привел к развитию наноэлектромеханики. Так, например, Агентство перспективных разработок МО США реализует программу "Умная пыль", направленную на создание сверхминиатюрных устройств, которые способны генерировать энергию, проводить скрининг окружающей среды, аккумулировать и передавать информацию.

В генной инженерии векторы на основе наноматериалов используются для доставки биологически активных веществ в клетки.

Углеродные наноматериалы (англ. carbon nanomaterials) – собирательный термин – структуры, основой которых является углерод (включающий фуллерены, нанотрубки, нановолокна, наноалмазы, графены). Особым интересом отличается графен, за изобретение которого русские физики Андрей Гейм и Константин Новоселов в 2010 году получили Нобелевскую премию. Графен – монослой атомов углерода, обладает высокой подвижностью при комнатной температуре. Основные свойства графена:

- самый тонкий материал, толщиной в 1 атом;
- практически прозрачен;
- прочность на разрыв 42 н/м, в 100 раз прочнее стали такой же толщины.
- является суперпроводником (выше меди в 10 раз);
- высокая теплопроводность (выше меди в 10 раз).

Области возможного применения графена:

- сенсорные экраны, микроэлектроника;
- композитные материалы;
- планшетные компьютеры;
- солнечные элементы;
- электронные схемы;
- гибкие световые панели;
- мобильные телефоны и др.

Кроме того, в настоящее время графен активно тестируют и в военной промышленности, в том числе при создании бронежилетов и высокопрочной спецодежды. В гражданских целях графен применяет, например, ГК «Энергоконтракт» при производстве термостойких комплектов для компаний электроэнергетики и пожарных служб.

Нужно признать, применение наноматериалов пока не очень широко развито. Тем не менее, на сегодняшний день наноматериалы применяются в информационных и компьютерных технологиях; машиностроение; биологии и медицине; в наносистемах для вредных производств; в ядерной энергетике; для систем вооружения и космических систем.

Приведем еще несколько примеров:

- «Умная повязка» как неинвазивный и непрерывный способ обнаружения инфекции в ране. В умных бинтах используются однослойные углеродные нанотрубки (встроенные в бинт наносенсоры), которые будут автоматически обнаруживать, предупреждать пациента о заражении и передавать данные на устройство (Университет Род-Айленда, США).

- «Наномаски и наносалфетки» – наноткани, изменяющие цвет при наличии вируса через вращение жидких кристаллов в волокнах – с их помощью владелец будет знать, когда сменить маску или салфетку (Университет Содружества Вирджинии, США).

- «Нано-обеззараживатели помещений» – способ очистки воздуха от всех органических токсичных веществ и угарного газа – с помощью наноматериалов и солнечного света (МГУ, Россия).

Цифровизация процесса дизайна материалов. Цифровизация процесса дизайна материалов позволяет нам получить новые материалы методом целенаправленного компьютерного поиска, более дешёвого и результативного. Компьютерный дизайн материалов позволяет предсказать свойства материала в обход многолетних лабораторных исследований.

Актуальными направлениями в современных лабораториях и центрах являются: а) открытие и проектирование «умных материалов» за счет использования искусственного интеллекта, б) предсказания механических свойств материалов, в) фундаментальные исследования для обеспечения

понимания природы свойств материалов и г) ускорения открытия материалов для достижения конкретных преимуществ новых технологий.

Основные задачи цифровизации процесса дизайна материалов представим на рис. 18.



Рисунок 18 – Основные задачи цифровизации процесса дизайна материалов

Центры по компьютерному дизайну материалов в РФ:

- Центр НТИ - «Композитные материалы и производство», совместно с технологическим партнером КБ «Архипов» и индустриальным партнером ГК «Русские инвестиции»;
- Лаборатория компьютерного дизайна материалов (МФТИ, с 2013 г.);
- Лаборатория «Расчетное проектирование материалов» (Сколковский институт науки и технологии, Центр по проектированию, производственным технологиям и материалам, с 2015 г.).

2.4 Технологии беспроводной связи. Классификация беспроводных сетей. Сотовые сети связи. Особенности сетей связи стандарта 5G

Современный мир сложно представить без телекоммуникационных технологий, которые стирают государственные границы и расстояние

между людьми, делают доступной мобильную и видеосвязь, позволяют решать множество задач в сфере управления, образования и коммерции. Каждый человек сталкивается с ними ежедневно, осуществляя телефонные звонки, проверяя почту или покупая товары в интернет-магазинах. В основе телекоммуникационных технологий лежат научные, технические и технологические достижения, объединяющие знания от первичной теории связи до микроэлектроники, схемотехники и вычислительной техники. Практически все современные телекоммуникационные технологии относятся к цифровым беспроводным системам, в которых входная информация, например, голос или сигнал от измерительного датчика, преобразуется в цифровую форму и обрабатывается цифровыми методами.

Технологии беспроводной связи. Одной из характерных особенностей цифрового производства является использование технологий беспроводной связи для мониторинга, контроля и управления технологическим процессом. Технологии беспроводной связи служат для передачи информации между двумя и более точками на расстоянии, не требуя проводной связи. В качестве носителя информации в таких сетях выступают радиоволны различных диапазонов, а также излучение в инфракрасном и видимом оптическом диапазонах. Бурное развитие беспроводных сетей передачи информации связано с такими их достоинствами, как [20]:

- гибкость архитектуры, т.е. возможности динамического изменения топологии сети при подключении, передвижении и отключении мобильных пользователей без значительных потерь времени;
- высокая скорость передачи информации;
- быстрота проектирования и развертывания;
- высокая степень защиты от несанкционированного доступа;
- отказ от дорогостоящей и не всегда возможной прокладки или аренды оптоволоконного или медного кабеля.

Сущность технологии беспроводной связи заключается в следующем: беспроводные сети (радиосети) обеспечивают обмен данными между локальными компьютерными сетями, когда использование традиционных кабельных технологий затруднено (например, в помещениях прокладка кабеля может оказаться невозможной) или нецелесообразно (дорого). Основой любой беспроводной сети служит ее протокол. Как правило, протокол регламентирует топологию сети, маршрутизацию, адресацию, порядок доступа узлов сети к каналу передачи данных, формат передаваемых пакетов, набор управляющих команд для узлов сети и систему защиты информации [20].

Классификация беспроводных сетей. Для классификации беспроводных сетей можно использовать различные параметры. Наиболее распространенный способ – исходя из максимального радиуса действия беспроводной сети.

Согласно классификации Международного союза электросвязи (International Telecommunication Union, ITU), беспроводные сети подразделяются в зависимости от радиуса действия и классифицируются следующим образом:

- WPAN (Wireless Personal Area Networks) - беспроводные персональные сети связи, используемые человеком в рамках его активности;
- WLAN (Wireless Local Area Networks) - беспроводные локальные сети, предназначенные для обеспечения беспроводного покрытия и доступа в рамках локальных пространств;
- WMAN (Wireless Metropolitan Area Networks) - беспроводные сети масштаба города;
- WAN (Wide Area Networks) - глобальные сети связи, охватывающие большие территории и включающие большое количество узлов связи (рис. 19).

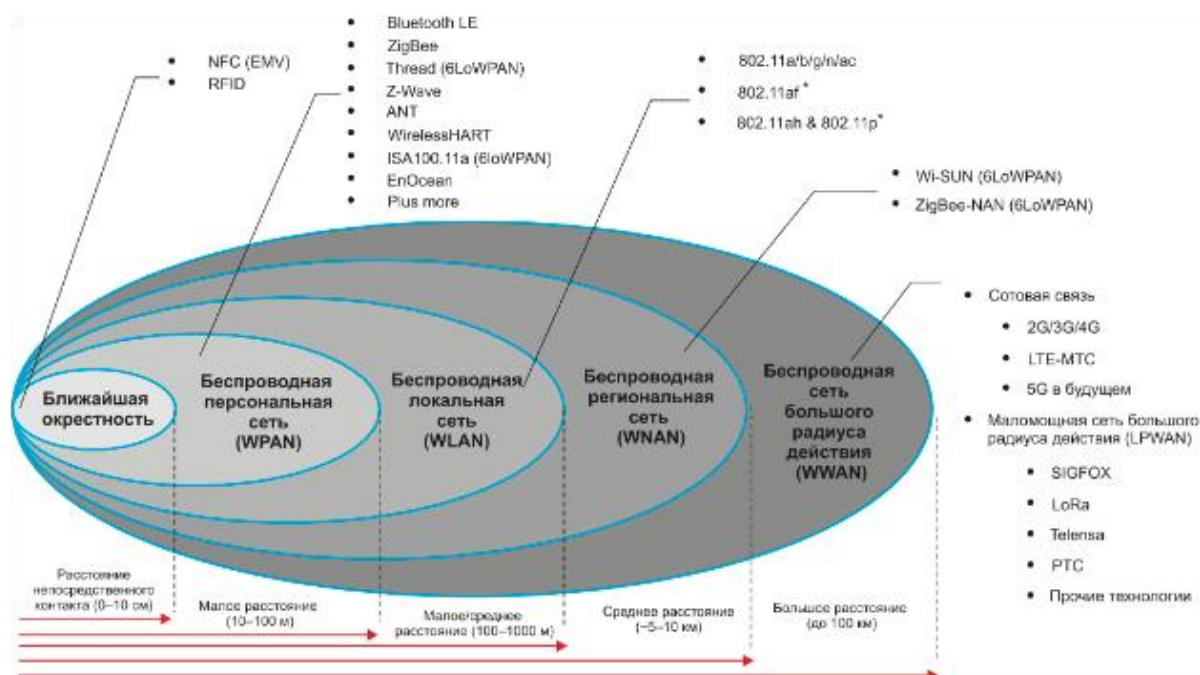


Рисунок 19 – Беспроводные сети

К персональным сетям WPAN относят системы с радиусом действия от сантиметров до нескольких метров. Основное назначение таких сетей состоит в замещении кабельной системы для связи оборудования (например, компьютера и периферийных устройств). Локальные сети WLAN подразумевают взаимную удаленность устройств на расстояние до сотен метров и предназначены для объединения устройств в пределах здания, предприятия. К сетям городского масштаба (региональным) WMAN можно отнести множество различных технологий. Это и наземное теле- и радиовещание, и сотовая связь [20]. Однако, с учетом того, что сети сотовой телефонии связаны друг с другом и разрабатываются с учетом возможности

взаимодействия, эти системы обычно относят и к глобальным сетям. К глобальным беспроводным системам WAN относят также спутниковые системы связи.

Беспроводные персональные сети. Характерной особенностью устройств WPAN является их невысокое энергопотребление. Время автономной работы устройства с батарейным питанием может достигать нескольких лет. Другой важной характеристикой WPAN является низкая стоимость технических средств. Сети WPAN становятся незаменимыми внутри производственной инфраструктуры для сбора информации от датчиков (например, температуры, давления, влажности) в центральный узел с целью ее последующего анализа и обработки.

Персональные сети могут быть созданы на базе различных технологий, среди которых наибольшую популярность получили Bluetooth, ZigBee, UWB.

Bluetooth является одной из самых популярных систем беспроводных персональных сетей. Начало истории Bluetooth связывают с созданием специальной рабочей группы SIG (Special Interest Group) в 1998 г., разрабатывающей технические спецификации этой технологии. В 2019 г. SIG насчитала более 33 000 компаний, производивших свыше 4 миллиардов устройств с Bluetooth.

Bluetooth переводится как «Синий зуб», по всей видимости названный так в честь датского короля X века Гарольда I по прозвищу "Синий Зуб", всемирно прославившегося собирательством датских земель. Данный стандарт позволяет передавать данные на небольшое расстояние с помощью радиоволн. Это происходит через специальный модуль на обоих устройствах, который может быть и передатчиком и отправителем.

Так для чего нужен Bluetooth? Изначально его использовали для передачи данных. Например, с одного телефона можно было отправить фотографии на другой. Сейчас возможности расширились, и все беспроводные наушники работают на этой технологии. Также «Синий зуб» часто используют, чтобы загрузить видео, картинки, фотографии с телефона или другого устройства на компьютер или ноутбук. К слову, у большинства моделей ноутбуков есть Bluetooth, и используется он также.

Bluetooth обеспечивает обмен информацией между такими устройствами, как персональные компьютеры (настольные, карманные, ноутбуки), мобильные телефоны, принтеры, цифровые фотоаппараты, мышки, клавиатуры, джойстики, наушники, гарнитуры, микроволновые печи и другое на расстоянии от 1 до 100 метров в ISM диапазоне 2.4 ГГц (рис. 20) [20].



Рисунок 20 – Bluetooth устройства

В этом диапазоне работает большое количество беспроводных устройств различного назначения. Система Bluetooth является устойчивой к различного рода узкополосным и широкополосным помехам.

Технологии беспроводной сети ZigBee разрабатывает альянс предприятий «The Zigbee Alliance», образованный в 2002 году. Zigbee 3.0 (2017 год) позволяет умным объектам работать вместе. Решения Zigbee используются в датчиках и устройствах управления для систем безопасности, систем управления освещением и климатом, энергоснабжения и др. На базе сетей Zigbee создаются «умные дома» и «умные города», подключенные к интернету вещей.

За счет ретрансляций большого количества узлов (до 65 000) покрываемая сетью зона может быть весьма значительной: до нескольких тысяч квадратных метров в помещении и до нескольких гектар на территории предприятия или города.

Спецификация ZigBee предусматривает криптографическую защиту данных, передаваемых по беспроводным каналам и гибкую политику безопасности. Отличительная особенность ZigBee устройств – сверхнизкое энергопотребление, срок работы от батареи может достигать 5-10 лет.

Wi-Fi (сокращение образовано от англ. Wireless Fidelity) – это семейство технологий беспроводных сетей, основанных на семействе стандартов IEEE 802.11, которые обычно используются для локальных сетевых устройств и доступа в Интернет. Устройства, которые могут использовать технологию Wi-Fi, включают настольные и портативные компьютеры, смартфоны и планшеты, умные телевизоры, принтеры, цифровые аудиоплееры, цифровые камеры, автомобили и дроны.

Частотные диапазоны, в которых работают системы Wi-Fi, отличаются высоким поглощением среды и лучше всего подходят для прямой видимости (табл. 5).

Таблица 5 – Стандарты Wi-Fi

Поколение	Год появления	Пиковая скорость
802.11 b	1999	11 Мбит/с
802.11 a	1999	54 Мбит/с
802.11 g	2003	54 Мбит/с
802.11 n (WiFi 4)	2009	600 Мбит/с
802.11 ac (WiFi 5)	2013	7 Гбит/с
802.11 ax (WiFi 6)	2019 - 2020	10 Гбит/с

Это также помогает минимизировать помехи между различными сетями в многолюдных пространствах. Точка доступа часто имеет радиус действия около 20 метров в помещении, в то время как некоторые современные точки доступа обеспечивают расстояние до 150 метров на улице. По сети Wi-Fi можно передавать интернет, при этом используется роутер или маршрутизатор. Использование антенн в приемопередатчике позволяет поддерживать скорость на определенном уровне. К концу 2024 г. планируется достичь скорость в 30 Гбит/с.

Беспроводные глобальные сети. В основе мобильной связи лежит сотовая сеть, состоящая из распределённой сети базовых станций (стационарные сотовые вышки), к которым подключены абонентские мобильные станции (телефоны), а также содержащая коммутационные узлы. Зона радио покрытия делится на области – соты, в радиусе действия которых абоненты подключаются к определенной базовой станции (рис. 21). Когда абонентское мобильное устройство перемещается из одной соты в другую, происходит переключение на другую базовую станцию, таким образом поддерживается постоянный радиоконтакт мобильного терминала и станции, осуществляемый по протоколу, соответствующему определённому стандарту связи (GSM, UMTS, LTE).

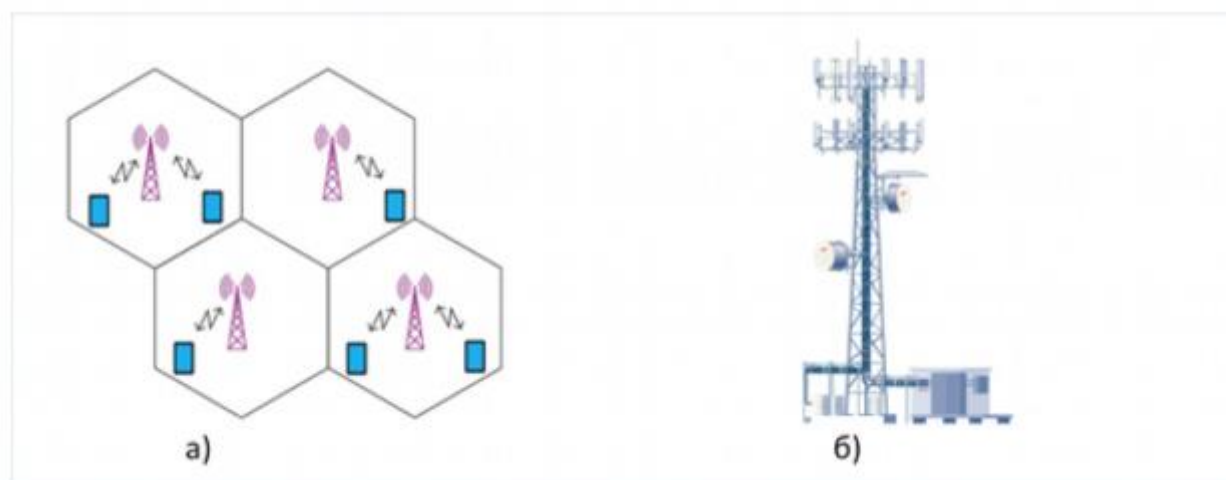


Рисунок 21 – Схематичное изображение сотовой структуры мобильной сети (а) и базовой станции (б)

Процедура передачи информации по мобильной сотовой сети приведена на следующем рисунке (рис. 22). Сигнал от мобильного абонентского устройства по беспроводному радиоканалу поступает на базовую станцию. В свою очередь, сигнал обрабатывается приемным устройством на базовой станции, из него извлекается цифровая информация и далее отправляется в коммутационный центр. Передача информации между базовой станцией и коммутационным центром может осуществляться как радиорелейным способом (через сеть беспроводных ретрансляторов), так и по оптоволоконным или электрическим кабельным системам.



Рисунок 22 – Передача информации по сотовой сети

При создании новых поколений связи основными требованиями являлись повышение скорости передачи информации и увеличение емкости сети (возможности одновременной работы с большим числом активных мобильных устройств), а также уменьшение задержки в сети. Созданы пять поколений сотовых систем, основные характеристики которых приведены в таблице (табл. 6).

Таблица 6 – Поколения сотовых систем

Поколение	Стандарт	Максимальная теоретическая скорость передачи
1G	NMT/AMPS	2.4 Кбит/с, Аналоговая радиосвязь
2G	GSM	1 Мбит/с
3G	UMTS	21.6 Мбит/с (для HSPA+)
4G	LTE	1000 Мбит/с
5G	IMT 2020	> 10 Гбит/с

Особенности сетей связи стандарта 5G. Пятое поколение сотовых систем связи 5G призвано значительно улучшить параметры прошлых поколений, а также обеспечить поддержку новых быстроразвивающихся технологий, например, таких как «интернет вещей». Ключевые особенности сетей 5-го поколения представлены на рисунке (рис. 23).



Рисунок 23 – Ключевые особенности сетей 5G

По данным из разных источников, количество пользователей к 2020 г. возросло до 4,54 млрд. чел. Это значит, что количество скачиваний данных различной тяжести, количество абонентов, слушающих музыку и смотрящих видео в онлайн-режиме, а также использующих прочие услуги, тоже пропорционально возросло. Следует учитывать, что потребности людей непрерывно увеличиваются: если еще совсем недавно примитивные flash-игры на мобильном телефоне считались верхом развития игровой индустрии, то сейчас большинство абонентов хотят иметь хорошую графику, 3D-эффекты, качественные саундтреки, и производители гаджетов с удовольствием идут навстречу клиентам. Миру нужен был более сильный «G», и он его получил. Технология 5G начала свое шествие.

Что стало возможным с приходом 5G? Например, в 2018 году во время футбольного матча Россия – Турция на стадионе было установлено пять камер с охватом 360 градусов, изображение с которых передавалось по сети 5G в офис «МегаФона». Трансляцию можно было смотреть в шлеме виртуальной реальности, полностью погрузившись в происходившее на стадионе; а все сезоны «Игры престолов» можно было скачать за 1 минуту.

Если говорить о промышленности, то тут в первую очередь имеет значение Интернет вещей – концепция, предполагающая бесперебойную связь с высокой скоростью. Речь идет об увеличении скорости от 10 до 100

Гбит/с при задержке сети не более 10 мс. Это позволит подключать устройства различной сложности. В прошлое уйдет понятие «падения сети», снижения скорости во время работы и прочие неудобства, связанные с увеличением количества абонентов.

Технологию 5G возможно применять в:

- медицине (телемедицине – проведение операций дистанционно);
- беспилотном транспорте (транспорт в крупнейших городах планеты появится к 2040 году, что даст автономным автомобилям возможность взаимодействовать с дорогами, светофорами, уличными указателями и парковками + с экстренным управлением);
- системах управления «умный город»;
- системах управления «умный дом» и др.

Ученые всего мира уже работают над идеями для стандарта передачи информации 6G, несмотря на то, что масштабное внедрение стандарта 5G еще только планируется, а стандарт 4G всё ещё актуален и удовлетворяет требованиям пользователей. Одним из недостатков применяемых сигналов является то, что они занимают слишком большую полосу частот. Эту проблему пытаются решить, например, учеными СПбПУ им. Петра Великого ведется разработка прототипа цифрового радиомодема, который предполагается к внедрению в стандартах передачи информации 5G-6G. Результаты исследований уже были представлены в Женеве в Международном союзе электросвязи для внедрения этих разработок в международные стандарты сотовой связи, цифрового телевидения и радиовещания.

2.5 Квантовые технологии. Квантовое шифрование. Квантовый компьютер. Квантовые сенсоры. Основные области применения квантовых технологий

В двадцатом веке произошла первая квантовая революция. Появились технологии, такие как транзисторы и лазеры, которые внесли вклад в создание современного информационного мира. Некоторые исследователи считают, что человечество уже вступило в эпоху второй квантовой революции, суть которой заключается в способности управлять сложными квантовыми системами на уровне отдельных частиц, например, атомов и фотонов [17]. С результатами этой революции связывают появление квантовых компьютеров, квантовых коммуникаций и квантовых сенсоров. Теория утверждает, что квантовые компьютеры решают некоторые задачи быстрее классических, квантовые коммуникации дают фундаментально не прослушиваемые каналы связи, а квантовые сенсоры измеряют с большей точностью.

Квантовые технологии. Для изучения данной темы нам понадобятся следующие понятия.

Квантовые технологии – это квантовые коммуникации (криптография), квантовые вычисления и квантовые сенсоры.

Квантовые коммуникации – технология криптографической защиты информации, использующая для передачи ключей индивидуальные квантовые частицы. Главное преимущество квантовых коммуникаций – защищенность информации, гарантированная законами физики.

Квантовые вычисления – новый класс вычислительных устройств, использующий для решения задач принципы квантовой механики. Прогнозируется, что в целом ряде задач квантовый компьютер будет способен дать многократное ускорение по сравнению с существующими суперкомпьютерными технологиями. Примерами являются сферы кибербезопасности, искусственного интеллекта и создание новых материалов.

Квантовые сенсоры и метрология – совокупность высокоточных измерительных приборов, основанных на квантовых эффектах. Высокая степень контроля над состоянием отдельных микроскопических систем позволяет создавать сверхточные квантовые сенсоры с пространственной разрешающей способностью, сравнимой с размером одиночных атомов, а также высокоточные атомные часы [17].

Чтобы лучше разобраться в данных технологиях, рассмотрим их по отдельности. Затем приведем мировые и российские проекты в области квантовых технологий.

Квантовое шифрование или квантовая криптография. С помощью современных цифровых технологий удобно получать услуги, быстро отправлять сообщения или совершать покупки по всему миру. Каждый хочет, чтобы его переписка была конфиденциальной, и деньги попали на счет магазина, а не злоумышленников. Поэтому разработчики уделяют внимание безопасности своих систем, и для этого используют методы криптографии.

Для того чтобы разобраться в квантовом шифровании, обратимся к истории возникновения и эволюции его развития. Впервые идея использовать квантовые объекты для защиты информации от подделки и несанкционированного доступа была высказана Стефаном Вейснером в 1970 г. Спустя 10 лет ученые Беннет и Brassard, которые были знакомы с работой Вейснера, предложили использовать квантовые объекты для передачи секретного ключа. В 1984 г. они разместили статью, в которой дали описание протокола квантового распространения ключа BB84. Носителями информации в протоколе BB84 явились фотоны, поляризованные под углами 0, 45, 90, 135 градусов [45].

Позднее идея была развита Артуром Экертом в 1991 году, которая привела к созданию квантового распространения ключа на основе особенностей поведения квантовых объектов.

В процессе изучения квантовой физики учеными было замечено, что многие проблемы цифровой безопасности можно решить с помощью методов криптографии. Предположим, нам необходимо передать сообщение от пользователя **A** к пользователю **B** так, чтобы при перехвате сообщения злоумышленником его невозможно было прочитать. Для этого оригинальное сообщение шифруют с помощью специального ключа. Традиционно применяют два подхода: криптографию с закрытым ключом и криптографию с открытым ключом.

Криптография с закрытым ключом. В криптографии с закрытым ключом зашифровывают и расшифровывают сообщение с помощью одного ключа. Из-за того, что у **A** и **B** один и тот же ключ, такой подход ещё называют симметричной криптографией.

Для надежности ключ должен быть секретным и случайным. В противном случае злоумышленник может его вычислить. Основная проблема подхода с закрытым ключом – в том, что ключ должен быть у **A** и **B** перед передачей конфиденциального сообщения. Очевидно, что ключ тоже должен быть передан конфиденциально. И если снова использовать методы криптографии с закрытым ключом, то получится замкнутый круг.

Простым примером шифрования для сообщений в виде обычного текста может быть перестановка букв местами, а ключом – последовательность этих перестановок. Но на практике используют более сложные алгоритмы. Например, широко распространен стандарт симметричного шифрования AES, который, например, входит в криптографические системы мессенджеров Whatsapp и Telegram, платежных систем Mastercard и Visa и основного протокола интернета HTTPS.

Криптография с открытым ключом. В криптографии с открытым ключом используют два вида ключей: зашифровывают сообщение с помощью открытого ключа, а расшифровывают с помощью закрытого. Если **A** хочет передать зашифрованное сообщение **B**, то он должен сначала получить от **B** открытый ключ. Причем, открытый ключ может быть известен даже злоумышленнику – без закрытого ключа он не сможет расшифровать сообщение. По аналогии с симметричной криптографией подход называют асимметричным.

В основе криптографии с открытым ключом лежат математические вычисления, которые легко вычисляются в одну сторону, но с трудом в обратную. Например, можно легко умножить простое число 101 на простое число 103 и получить 10403, но сложно по числу 10403 получить его простые множители. Если вместо 101 и 103 взять достаточно большие простые числа, то разложение будет практически невозможно выполнить на современных компьютерах.

Основная проблема подхода с открытым ключом в том, что могут появиться вычислительные системы, которые будут способны эффективно вычислять обратные функции.

На практике часто используют гибридную криптографию: сообщения передают с помощью симметричного подхода, а секретный ключ для него передают асимметричным методом. Известным алгоритмом асимметричного шифрования является RSA. Например, его используют в криптографических системах Telegram, Mastercard, Visa и HTTPS как дополнение к криптографии с закрытым ключом. Whatsapp для этих целей использует другой асимметричный алгоритм.

Постквантовая криптография. Как было отмечено, можно решить проблему распределения секретного ключа, если использовать гибридную криптографию. Но это не избавляет от угрозы появления систем, способных эффективно вычислять обратные функции. К таким системам, например, относятся квантовые компьютеры. Эти устройства позволяют решать эффективней некоторые задачи, которые сложно вычислять на классических компьютерах. Например, задача разложения числа на множители. Поэтому с появлением квантовых вычислителей такие алгоритмы асимметричного шифрования, как RSA, перестанут быть надежными. Несмотря на то, что устройств еще нет, специалисты по криптографии уже работают над алгоритмами, которые будут сложны и для квантовых компьютеров. Это направление называется постквантовой криптографией.

Квантовое распределение ключа. Квантовая криптография является принципиально иным подходом в борьбе с угрозой появления систем, способных эффективно вычислять обратные функции. С помощью квантового распределения ключа можно создавать системы, безопасность которых базируется не на вычислительной сложности задачи, а на ограничениях, накладываемых физическими законами.

В квантовой криптографии сообщения от **A** к **B** передается с помощью физических объектов, у которых проявляются квантовые свойства. Под *квантом* в физике понимают наименьшую неделимую часть чего-либо. Например, *фотон* – квант электромагнитного излучения (света). В отличие от классических физических объектов, квантовые могут находиться в суперпозиции взаимоисключающих состояний. Так, фотон может иметь одновременно и вертикальную и горизонтальную поляризацию. Известной метафорой суперпозиции квантовых объектов является мысленный эксперимент с кошкой Шредингера.

Чтобы узнать, что закодировано в квантовой системе, необходимо измерить ее состояние. Однако, в отличие от состояний классических объектов, измерение над квантовыми объектами меняет их состояние. Если при передаче секретного ключа в системе квантовой криптографии злоумышленник будет прослушивать канал связи, то он неизбежно будет

изменять состояния квантовых объектов. Тогда **A** и **B** смогут понять, что их прослушивают.

Квантовый компьютер. Ноутбуки, смартфоны, фитнес-трекеры, серверы и даже панель управления в стиральной машинке – это все компьютеры. Они – основа цифрового мира. Компьютеры появились как инструменты упрощения расчетов для военных, а теперь они упрощают нашу жизнь. Отправлять мгновенно сообщения на другой конец света или совершать покупки по всему миру было бы невозможно без компьютеров.

Сегодня компьютеры преимущественно миниатюрные и состоят из кремниевых микросхем, которые построены на цепочках транзисторов. Но вместо кремниевых микросхем могут быть, например, механизмы с зубчатыми колесами и рычагами. Это возможно, потому что принципы вычислений универсальны. Однако существуют квантовые вычисления, с помощью которых можно эффективней решать некоторые виды задач, которые сложны для классических компьютеров. К настоящему моменту известны сотни квантовых алгоритмов (например, алгоритмы Шора, Гровера и др.). Но поиск новых алгоритмов постоянно продолжается.

Основная проблема в области квантовых компьютеров связана с их физической реализацией. Существует множество способов организации квантовых вычислений. Но наиболее перспективными направлениями сейчас являются проекты на ионных ловушках и на сверхпроводящих квантовых цепях.

На сегодняшний день нет универсальных масштабируемых квантовых компьютеров, которые способны эффективно выполнять квантовые вычисления. Однако, разработки ведутся в различных лабораториях мира. В Китае, Великобритании, Австралии, США, Канаде, ЕС, Японии запущены национальные программы по развитию квантовых вычислений. Согласно отчету исследовательской компании Allied Market Research, глобальный рынок квантовых вычислений к 2025 году составит \$5 853 млн.

Крупные исследовательские проекты запущены в компаниях Intel, Microsoft, IBM, AlibabaGroup, Google. Последняя недавно заявила о достижении квантового превосходства над классическими компьютерами. Исследователям из Google удалось за 200 секунд на 54-кубитном квантовом процессоре решить задачу, которой бы потребовалось 10 000 лет на самом современном классическом суперкомпьютере (Недавно Google объявила, что достигла 72 кубитов. В Мэрилендском университете готовят квантовый компьютер мощностью около 100 кубитов. Группа Михаила Лукина в Гарварде близка к этому уровню) [33]. Это важное техническое достижение, которое показывает, что квантовые вычисления эффективны не только в теории, но и на практике. По классификации QTRL, которая определяет готовность технологий квантовых вычислений, мировой уровень технологий соответствует QTRL 4–5 из 9.

Помимо универсальных квантовых вычислителей, интерес представляют *адиабатические квантовые процессоры* и *квантовые симуляторы*. Первые предназначены для решения оптимизационных задач, которые возникают в прикладных областях, например, в машинном обучении. Вторые нацелены на симуляцию квантовых систем. Квантовые симуляторы важны для химии и фармацевтики: там, где необходимо было проводить реальные эксперименты, достаточно будет выполнить симуляцию. Ожидается, что специальные вычислители упростят создание удобрений и лекарств, проектирование материалов, разработку новых типов аккумуляторов.

На базе МИСиС функционирует центр компетенций Национальной технологической инициативы Российской Федерации по квантовым технологиям. В 2019 году МИСиС представил первый компьютер на двух кубитах, который вычисляет алгоритм Гровера. Проводят исследования и в других научных лабораториях, например, в Российском квантовом центре, Сколтехе, МГУ, ФТИ им. А.Ф. Иоффе, МФТИ, НГТУ. Уровень развития квантовых вычислений в России относят к QTRL 2–4.

Ажиотаж вокруг квантовых компьютеров, в первую очередь, вызван угрозой, которую они несут для криптографии современных информационных систем. Несмотря на это, положительный эффект их появления сравним с изобретением классических компьютеров. А квантовая и постквантовая криптографии позволяют нивелировать проблему безопасности информационных систем.

Квантовые сенсоры. Квантовые сенсоры – высокоточные измерительные приборы, основанные на квантовых эффектах.

Ожидается, что квантовые сенсоры будут иметь высокое пространственное и временное разрешение, что позволит повысить точность измерений в сравнении с существующими классическими сенсорами, а использование свойств суперпозиции, запутанности, сжатия квантовых состояний, в свою очередь, обеспечит в перспективе максимально возможную чувствительность измерения за счет преодоления стандартного квантового предела [33].

Высокая степень контроля над состоянием отдельных микроскопических систем позволяет создавать квантовые сенсоры с высокой чувствительностью. Развитие технологий разнообразных датчиков нового поколения может дать мощный импульс сразу в нескольких областях: оборона и безопасность, навигация (космос, беспилотный транспорт); строительство, нефтедобыча и геологоразведочные работы; медицинская диагностика/ терапия; индустрия 4.0 [33].

Общая оценка уровня готовности технологий квантовой сенсорики в мире TRL 3–9 и в РФ TRL 1–5.

Основные области применения квантовых технологий (КТ). Сегодня КТ занимают все более важное значение в вопросах национальной

безопасности, информационных технологиях, медицине, а также для дальнейшего прогресса во всех стратегических направлениях цифровой экономики. Несмотря на то что КТ обладают большой научной составляющей, этот факт не является препятствием для их быстрого развития и внедрения в индустрию [17].

Возьмем квантовые вычисления и представим несколько аргументов за их развитие: традиционные компьютеры уже не справляются со сложностью современных задач. Иногда их просто невозможно решить существующими компьютерами. С помощью квантового компьютера, например, бизнесу будет легче решить три большие задачи: оптимизация процессов, задачи машинного обучения, моделирование новых материалов и востребованных химических соединений. С помощью квантовых вычислений можно моделировать поведение реальных физических систем, например, узнать, как в реальности проходит химическая реакция. Благодаря этому ученые надеются оптимизировать процессы каталитического синтеза, (например, производство аммиака).

Один из самых известных примеров применения квантовых вычислений для решения реальных задач – компания D-Wave, работающая с различными индустриями: автопромом (Volkswagen), космической сферой (NASA), медициной. Квантовые компьютеры могут быть применены для моделирования новых материалов. Энергопотребление квантовых компьютеров будет более чем в 100 раз меньше, что позволит в будущем сэкономить десятки миллиардов долларов в год [33].

Направление квантовых сенсоров начало активно развиваться в промышленности. Одной из главных тенденцией рынка станет применение квантовой сенсорики в области медицины, например, в цитологии и создании новых медицинских устройств, например, для диагностики и лечения онкологических и других заболеваний. Следующая тенденция – растущий спрос на интернет вещей, что в значительной степени стимулирует рост рынка квантовых сенсоров. Еще одна тенденция – рост рынка квантовых сенсоров стимулирует развитие глобальных навигационных систем, которые широко используются в аэрокосмической и автомобильной отраслях для навигации.

Чтобы разобраться в возможных областях применения квантовой коммуникации, рассмотрим следующие факты [33]:

- **рост общего числа данных.** По прогнозам IDC к 2020 г. цифровая вселенная достигнет объема в 40 зеттабайт. Всего с начала 2010 г. объем данных вырос в 50 раз;
- **рост доли данных, нуждающейся в защите.** По прогнозам IDC доля информации, нуждающейся в защите, неуклонно растет: с 30% до 40% к 2020 году. В то же время экспертами (Positive Technologies) отмечается, что уровень защиты данных недостаточно высок;

– *ускорение темпов роста технологии квантовых вычислений* за счет увеличения инвестиций со стороны государства (США – 20 млрд долларов, Китай – 10 млрд долларов, Европейский союз – 3 млрд евро и т.д.), со стороны частных компаний (Google, Intel, IBM, Microsoft, Alibaba, Huawei и т.д.) и др.

На сегодняшний день квантовую криптографию рассматривают как один из основных элементов инфраструктуры будущих инфокоммуникационных сетей. В мире уже запущено множество исследовательских и коммерческих проектов, а также ведутся работы по стандартизации отрасли. На мировом рынке присутствуют коммерческие решения от ID Quantique, Qasky, IBM, QuintessenceLabs, QuantumCTek, Quantum Xchange, CryptaLabs, Qubitekk, Aurea Technologies, qutools, Mitsubishi Electric, NuCrypt, MagiQ Technologies, QuNu Labs, HP, NEC, Toshiba, Microsoft. По отчету исследовательской компании The Insight Partners глобальный рынок квантовой криптографии в 2018 году составлял \$105,3 млн и достигнет \$1996,1 млн к 2027 году.

Успех квантовой криптографии связан с тем, что оборудование легко интегрируется в существующие телекоммуникационные системы, где сигнал передается по оптическому волокну. Однако из-за потерь максимальное расстояние, на которое можно передать квантовое сообщение, ограничено сотнями километров. Рекорд в 421 км установлен в 2018 году в совместном проекте Женевского университета с компаниями ID Quantique и Corning. Вместо волоконных можно использовать атмосферные оптические линии связи. В 2018 году австро-китайская команда продемонстрировала спутниковую связь с квантовой криптографией. В проекте фотоны передавались через турбулентную атмосферу со спутника на наземные станции, преодолевая расстояния порядка 1000 км. Этот проект показал, что можно организовать защищенный квантовый канал связи между практически любыми точками на Земле.

Вот еще несколько примеров применения квантовой криптографии [45]:

– В конце ноября 2020 года IBM внедрила в свои сервисы защиту от квантовых кибератак для трех сервисов в IBM Cloud: Red Hat Openshift, Cloud Kubernetes Service и Key Protect. Клиенты, использующие эти сервисы, теперь смогут защищать данные с помощью алгоритма шифрования, который будет иметь больше шансов противостоять атакам квантовых компьютеров в будущем.

– Япония начала работу над глобальным сервисом квантового распределения ключей. В рамках проекта до 2024 г. года планируется построить сеть, включающую более 100 квантовых криптографических устройств и 10000 пользователей по всему миру. Об этом стало известно 29 июля 2020 года.

– В начале января 2021 года китайская телекоммуникационная компания China Telecom сообщила о запуске пилотной программы, в рамках которой пользователи смартфонов смогут совершать звонки с применением алгоритмов квантового шифрования. Новая услуга от China Telecom доступна в провинции Аньхой, изначально ей смогут воспользоваться только избранные клиенты.

Квантовая криптография развивается и в России. Основные исследовательские группы работают в Российском квантовом центре, Казанском квантовом центре, университетах ИТМО, ЛЭТИ, МИСиС и МГУ. На базе двух последних университетов организованы центры компетенций научно-технической инициативы России по квантовым технологиям и квантовым коммуникациям.

Кроме того, известны коммерческие проекты стартапов Qrate из Российского квантового центра и Квантовые коммуникации из университета ИТМО. В 2019 году на Петербургском международном экономическом форуме компаниями Сбербанк, Газпромбанк, РwС и Российским квантовым центром на базе оборудования Qrate была организована межкорпоративные сеть с квантовой криптографией.

Что касается обозримого будущего, то квантовое шифрование сможет использоваться для передачи критически важных данных финансовыми организациями, банками для проведения защищенных транзакций, медицинскими учреждениями и госслужбами, поскольку цифровая коммерция, правительство и армия – это сферы с высокими требованиями к безопасности.

В заключение можно сделать вывод, что исследователи работают над квантовыми технологиями давно, но мировая индустрия еще формируется. Среди квантовых технологий только технология квантовых коммуникаций является зрелой и готовой к рынку. Несмотря на это, уже видно, что квантовые технологии будут играть важную роль. Квантовые компьютеры и коммуникации улучшат обработку больших данных, ускорят алгоритмы машинного обучения, повысят защиту блокчейна, а с помощью новых сенсоров усилят чувствительность нейроинтерфейсов.

2.6 Системы распределенного реестра. Проблемы и преимущества технологии блокчейн. Криптовалюта. Смарт-контракты. Использование технологии блокчейн в государственном секторе

О технологиях распределённых реестров сейчас много говорят не только специалисты по информационным технологиям. У всех на слуху термин «блокчейн», обозначающий целый класс новых технологий, появившихся относительно недавно и привлёкших к себе внимание многих миллионов людей. С чем же связан такой интерес к этим технологиям, какова их истинная ценность и предназначение? Постараемся разобраться.

Системы распределенного реестра. Для понимания причин возникновения новой технологии сначала поговорим о сетевых информационных системах как таковых. Примеров таких систем сейчас множество: популярные интернет-сервисы и социальные сети, мессенджеры и системы дистанционного банковского обслуживания, системы, используемые людьми для работы и бизнеса, общения или развлечения. Чтобы разобраться в их разнообразии, введем терминологию. Важнейшей характеристикой информационной системы является её *архитектура* – описание количества и типов компонентов системы, а также способов их взаимосвязи. Нам сейчас важно выделить два типа архитектур сетевых информационных систем: клиент-серверные и децентрализованные (одноранговые) (рис. 24).



Рисунок 24 – Сетевые информационные системы

Исторически первыми получили широкое практическое применение клиент-серверные сетевые информационные системы. В этой архитектуре есть выделенный обслуживающий компонент (сервер), к которому обращаются множество компонентов, расположенных на персональных компьютерах или мобильных устройствах пользователей (клиенты). Сервер находится под управлением одного лица или организации, которое полностью определяет принципы функционирования сервера и отвечает за его работоспособность и сохранность данных. Эта определённая ответственность является основным преимуществом и одновременно существенным недостатком клиент-серверных систем. Клиенты вынуждены полностью доверять владельцу сервера, в том числе, и весьма чувствительные персональные данные, если, например, речь идет о сервере банка. В случае, если злоумышленник найдёт способ выдать свой компьютер за такой сервер – клиенты могут предоставить ему свои конфиденциальные данные и потерять деньги. Другой важный недостаток клиент-серверных систем – чисто технический: сервер является

единственной точкой отказа в такой системе. В случае выхода из строя или отключения сервера необходимые клиентам функции становятся недоступными.

В одноранговых системах, напротив, все компоненты, называемые узлы сети, могут выступать как в роли клиентов, так и в роли серверов. Благодаря постоянному обмену информацией между узлами функции вышедшего из строя узла могут выполнять другие узлы. Это обеспечивает многократно более высокую устойчивость одноранговых систем как перед техническими сбоями, так и перед атаками злоумышленников, нацеленными на нарушение работоспособности системы (так называемые, DoS (Denial of Service) атаки).

Одноранговые (децентрализованные) системы легли в основу технологии систем распределенного реестра. В дорожной карте развития СЦТ указано, что *технология систем распределенного реестра* представляет собой новый подход к созданию баз данных, ключевой особенностью которого является отсутствие единого центра управления. Каждый узел составляет и записывает обновления реестра независимо от других узлов [39].

Принципиально также отличие одноранговых систем от клиент-серверных в отношении распределения ответственности. В одноранговых системах каждый узел – это независимый компьютер, все узлы могут принадлежать разным лицам. Одноранговые системы могут иметь полностью децентрализованную архитектуру, в которой абсолютно все узлы равноправны, и смешанную, когда в одноранговой сети выделяются «особые» узлы, выполняющие функции координаторов, каталогов и т.д. Однако смешанная архитектура во многом лишает одноранговую систему её основных преимуществ, так как координаторы становятся точками отказа и точками особой ответственности, что сближает такие системы с клиент-серверными. В полной мере преимущества одноранговых систем воплощаются в полностью децентрализованных системах, в которых все узлы равноправны, в результате чего система способна сохранять живучесть при отказе практически любого из узлов и даже нескольких узлов одновременно.

Однако наиболее важное практическое преимущество децентрализованных систем – это устранение посредников при выполнении транзакций между людьми или организациями. Именно поэтому многие считают такие технологии революционными: они действительно способны полностью изменить (и уже меняют) целые отрасли – индустрию развлечений, финансовую сферу, электронную коммерцию и другие. Классический пример – операции перевода средств между физическими лицами. В традиционных сервисах эти переводы осуществляются с помощью банка или иной финансовой организации, которая технически обеспечивает перевод и получает за это определенную комиссию. Но,

фактически, эта организация – лишь посредник, который вносит элемент централизации в операцию, которая вполне может быть осуществлена напрямую между двумя лицами.

Впрочем, помимо преимуществ при создании децентрализованных систем, возникает и ряд серьёзных проблем. Эти проблемы вытекают из самой сути их архитектуры, а именно, отсутствия центрального обслуживающего элемента – сервера. В централизованной системе клиенты всегда знают, как обратиться к серверу. Кроме того, в нормальной ситуации клиенты полностью доверяют серверу в рамках исполняемой им функции. В децентрализованной системе принципиально не подразумевается доверие к тому или иному узлу. Более того, даже состав узлов может быть заранее неизвестен. В таких условиях значительно сложнее обеспечить важнейшее свойство любой программной системы – её целостность (integrity). Что такое целостность?

Целостность – это то, насколько программная система соответствует своему предназначению и ожиданиям пользователей от её применения. Принято выделять три аспекта целостности программных систем: целостность данных (отсутствие потерь, ошибок и противоречий в хранимых данных), целостность поведения (отсутствие логических ошибок при работе системы) и безопасность (контроль доступа и защита от несанкционированного использования системы). Одним из возможных проявлений нарушения целостности является проблема двойного расходования. Представим, что распределенный реестр отвечает за фиксацию фактов передачи денежных средств. Если кому-либо удастся одновременно сформировать две транзакции, каждая из которых переводит все его средства разным получателям, получим ситуацию двойного расходования одной и той же суммы денег, что недопустимо. Однако, в отличие от монет, цифровые файлы можно продублировать и потратить еще раз.

Очевидно, что в централизованной системе обеспечение целостности полностью ложится на сервер и владеющее им лицо. В полностью децентрализованной системе нет ни одного доверенного компонента или лица, которые могли бы взять на себя обеспечение целостности системы. Именно это долгое время было основной причиной, затрудняющей практическое использование децентрализованных систем для серьезных задач, выходящих за рамки обмена файлами с аудио и видео продукцией.

Проблемы и преимущества технологии «Блокчейн (Blockchain)». Для решения проблемы взятия ответственности в децентрализованной системе в 2008 г. была предложена новая технология неким автором, известным под псевдонимом Сатоши Накамото. Им была предложена распределённая система для создания виртуальной валюты биткойн, построенной на архитектуре децентрализованной распределённой системы и криптографических алгоритмах, в результате чего эта новая валюта и

последовавшие за ней аналогичные системы стали называть криптовалютами. Несмотря на некоторую загадочность автора и юридические проблемы с признанием криптовалют официальными средствами платежа, предложенная технология оказалась действительно новым шагом в области распределенных систем и стала известна под термином «блокчейн (blockchain)».

Блокчейн (цепочка блоков) – технология, основанная на варианте реализации сети распределенных реестров, в котором данные о совершенных транзакциях структурируются в виде цепочки (последовательности) связанных блоков транзакций. Стоит отметить, что не все сети распределенных реестров функционируют на базе технологии блокчейн. Другими словами, блокчейн – это хранилища баз данных (в виде блоков), не связанных одним процессором, но связанных одной цепочкой.

Рассмотрим основные технические особенности этой технологии, но уже сейчас отметим, что «блокчейн» и «криптовалюты» – это различные понятия. Строго говоря, биткойн (или любая другая криптовалюта) – это одно из приложений на базе технологии блокчейн. Спектр возможных приложений, как мы увидим далее, весьма широк и далеко не ограничивается созданием виртуальных валют.

Технология блокчейн, по мнению экспертов, способна не только до неузнаваемости изменить финансовую сферу, но и другие отрасли. Работу технологии блокчейн схематично можно представить на рисунке (рис. 25).



Рисунок 25 – Схема работы технологии блокчейн

Почему мы можем утверждать, что технология блокчейн стала столь значительным шагом вперед в развитии технологий распределённых систем? Дело в том, что в рамках данной технологии удалось на принципиально новом уровне решить проблему поддержания целостности децентрализованных распределённых систем, в которых отсутствуют какие-либо координирующие участники. К сети блокчейн может подключиться абсолютно любой участник и получить в ней равные права с остальными участниками. Для этого нужно только предоставить вычислительные ресурсы своего компьютера. Таким образом, ни состав участников сети, ни личности, ни добросовестность участников заведомо неизвестны. Каким же образом в таких условиях удастся построить настолько надёжную систему, что ей можно доверить даже создание и хранение финансовых транзакций, операции купли-продажи недвижимости и другие важные задачи?

В сети любой может разместить информацию, а другие могут воспользоваться ей. Блокчейн позволяет пересылать ценности и обеспечивает к ним доступ. Однако для этого необходим личный, криптографически созданный ключ, открывающий доступ к блокам, принадлежащим пользователю. Передавая ключ третьему лицу – передается ценность, которая содержится в данном блоке. В случае с биткоином ключи открывают доступ к адресам, на которых хранится валюта. Ее ценность – финансовая. В данном случае блокчейн выступает посредником, записывающим акт передачи денег (функция банка) [30].

Кроме того, блокчейн помогает подтвердить личности и поддерживать доверие между сторонами, поскольку никто не может редактировать информацию в блоке, не имея ключей. Изменения, не прошедшие проверку подлинности, отвергаются. Получается, что основные функции банков – проверку подлинности для предотвращения от мошенничества и отражение законных сделок – можно провести с помощью блокчейна быстрее и эффективнее [30].

В распределенной системе есть две основные угрозы её целостности: технические отказы и преднамеренные действия злоумышленников – возможность захвата управления отдельными участниками или картелями. Несмотря на различную природу этих проблем, решение их общее и состоит в том, что распределённая система должна иметь надежные механизмы для проверки всех данных, которыми обмениваются узлы, на корректность.

Технология блокчейн включает в себя набор алгоритмов, правил и структур данных, которые позволяют осуществлять такие проверки всеми узлами сети коллективно без участия координирующего органа. Для этого в технологии блокчейн присутствуют следующие элементы:

- Распределенный реестр транзакций, хранящийся одновременно на всех узлах сети - (англ. distributed ledger) – это хранилище записей, называемых транзакциями, строго упорядоченных по времени их внесения.

Особенность распределенного реестра в том, что его записи хранятся одновременно на всех узлах децентрализованной сети. Это обеспечивает высочайшую надежность и живучесть системы;

- Криптографическое хэширование данных – это алгоритм, который позволяет преобразовать любые входные данные (текстовые, графические, видео или программные коды - не имеет значения) в число, называемое хэш-значением или хэш-кодом;

- Специальная структура данных, которая гарантирует обнаружение некорректных изменений ранее добавленных данных;

- Механизм защиты от несанкционированной модификации данных на основе трудноразрешимых криптографических заданий;

- Криптографическая аутентификация на основе асимметричного шифрования;

- Цифровая подпись транзакции;

- Механизм консенсуса при проверке вновь добавляемых в реестр транзакций.

Криптовалюта. Для начала рассмотрим понятие цифровая валюта. Цифровая валюта – дополнительная, альтернативная валюта, подкатегория электронных денег. Она не выпускается центральными банками и может быть не подкрепленной национальной валютой. К цифровым валютам относятся также криптовалюты, которые появились в 2009 году, и первую среди них был Bitcoin.

Криптовалюта – это разновидность цифровой валюты, основной схемой эмиссии которой является принцип доказательства выполненной работы «Proof-of-work». Создание и проверка каждой новой единицы валюты основаны на некоторых криптографических методах.

Криптовалюты схожи с золотом, потому что добыча каждой следующей единицы валюты становится тяжелее из-за усложнения вычисления, затраченного количества электроэнергии и рабочего времени компьютера.

Виды криптовалют:

Bitcoin – это самая первая криптовалюта, созданная в 2009 г. Имеет сильное колебание. Существует ограничение эмиссии монет в 21 млн. По мнению экспертов, Биткойн является самой известной и распространенной криптовалютой. Минусы в том, что она она ничем не обеспечена и существует только на доверии пользователей. Главный плюс Биткойн по мнению пользователей – анонимность. Но любое государство хочет получать доступ (например, по решению суда) к персональным данным, чтобы противодействовать преступности. На сегодня есть случаи использования криптовалюты для оплаты наркотиков, террористических актов, заказных убийств, и такие факты выступают против распространения таких систем платежей.

Litecoin – появилась в 2011 г., в основе ее лежит соответствие ее цены рыночной цены серебра, поэтому ее называют «электронным серебром». Ограничение эмиссии монет – 84 млн.

Primecoin – является измененной копией Биткоин, была создана в 2013 г., отличается полезностью вычислений.

Peercoin – создана в 2012 г., отличительная черта – отсутствие ограничений на объем эмиссии монет и то, что доход разделяется не только между майнерами, предоставляющих свою вычислительную мощность, но и между владельцами самой валюты.

Namescoin – создана в 2011, ограничение эмиссии монет в 21 млн.

Смарт-контракты. Важным шагом на пути развития технологий распределенных реестров явилось введение понятия “умных” контрактов или «смарт-контрактов». Впервые концепция смарт-контракта была озвучена известным учёным, специалистом в области информатики Ником Сабо в 1996 г.: «Смарт-контракт – это перечень обязательств, описанных в цифровой форме, и протоколы для выполнения этих обязательств сторонами. Основная идея смарт-контрактов в том, что аппаратное и программное обеспечение могут сильно помочь нам в заключении многих видов договорных отношений (например, в области залогов, разграничения прав собственности, кредитных отношений и т.д.)» [24].

Мы будем отталкиваться от следующего: смарт-контракт – это некоторая компьютерная программа, которая выполняется узлами сети блокчейн в процессе принятия новых транзакций. Программный код смарт-контрактов также сохраняется в сети и обладает свойством гарантированной неизменяемости. Благодаря смарт-контрактам можно фиксировать определенные договоренности или правила, которые будут автоматически исполняться системой при наступлении определенных событий. Ввиду неизменяемости кода контракта, после его заключения ни одна из сторон не сможет отменить соглашение. При этом соглашение (например, перечисление оплаты поставленного товара) будет исполнено автоматически, гарантируя добросовестность сделки.

Смарт-контракты поддерживаются большинством современных технологий распределённых реестров. Например, в блокчейн-сети Ethereum введен специальный язык программирования смарт-контрактов – Solidity. Существуют реализации смарт-контрактов также на других языках программирования.

У смарт-контрактов есть ряд преимуществ перед традиционными бумажными документами:

- более низкая цена;
- прозрачные условия;
- оперативное выполнение;
- отсутствие лишних посредников;

– возможность незамедлительных автоматически выполняющихся выплат.

Недостатки смарт-контрактов:

- отсутствие регулирования;
- сложность реализации;
- невозможность изменения интеллектуального контракта.

Смарт-контракты могут широко использоваться в сферах:

- учета и передачи прав собственности;
- операций с ценными бумагами;
- идентификации личности;
- финансовой отчетности;
- проверки на соответствие поставленных товаров установленным стандартам;
- хранения медицинских данных;
- передачи других цифровых активов;
- выборы и т.п.

Помимо вышесказанного, массовое распространение «интернет вещей», когда популярной техникой можно управлять дистанционно, делает применение смарт-контрактов практически неограниченным.

Использование технологии блокчейн в государственном секторе. Блокчейн находит сегодня применение практически в любой индустрии. По данным Всемирного экономического форума, к 2027 году 10% мирового ВВП будет непосредственно связано с блокчейном. В госпрограмме «Цифровая экономика Российской Федерации» распределенные реестры отмечаются среди технологий, способных оказать существенное влияние на развитие рынков и общества в целом, однако пока они находят применение главным образом в банковской сфере, инвестиционных сервисах, а также в государственном управлении [25].

Яркий пример внедрения технологии блокчейна в масштабах отдельного государства продемонстрировала Эстония, где на блокчейне хранятся личные идентификационные карты граждан, а также миллионы медицинских записей, позволяя в режиме реального времени видеть изменения в истории болезни. Блокчейн позволяет банкам этой страны без комиссии осуществлять мгновенные денежные переводы. Упростились и ускорились и другие процессы взаимодействия государства и граждан: регистрация браков, свидетельств о рождении, прав собственности и пр.

В Грузии Национальное агентство государственного реестра за считанные минуты предоставляет гражданам цифровой сертификат их активов и регистрирует недвижимость, сократив при этом операционные издержки на 90%.

Организация процесса голосования – еще один из сценариев применения блокчейна государством, и пионером здесь является

швейцарский кантон Цуг, в котором летом 2018 года были проведены муниципальные выборы с использованием блокчейна, куда вносилась информация о результатах голосования и данные местных жителей.

В России «Газпромнефть-Аэро» и S7 Airlines разработали и внедрили совместные смарт-контракты AFSC (Aviation fuel smart contracts), что позволило повысить скорость взаиморасчетов при заправке самолетов, автоматизировать процессы планирования и учета поставок топлива. Кроме того, S7 Group совместно с «Альфа-банком» осуществила первую в мире продажу авиабилета с помощью технологии блокчейна, благодаря чему удалось оптимизировать бизнес-процессы и автоматизировать взаиморасчеты, сократив их прохождение с 14 дней до 23 секунд. По данным Accenture, 60% топ-менеджеров называют блокчейн и смарт-контракты ключевой технологией для их организаций на горизонте следующих трех лет [25].

2.7 Большие данные. Источники больших данных. Технологии обработки больших данных. Проблемы внедрения больших данных. Применение больших данных в промышленности, маркетинге, медицине и безопасности

Повсеместная и стремительная цифровизация всех областей нашей жизни ведет к стремительному росту объема накапливаемой информации (например, социальные сети накапливают информацию о всех возможных действиях пользователей; транспортные компании – о количестве купленных билетов и предпочтениях пассажиров; банки – о проводимых транзакциях). По прогнозу экспертов компаний IDC и Seagate, общий объем хранимых данных демонстрирует экспоненциальный рост (рис. 26), с прогнозируемым увеличением с 33 зеттабайт в 2018 г. до 175 зеттабайт в 2025 г. (один зеттабайт равен 10^{21} байт).

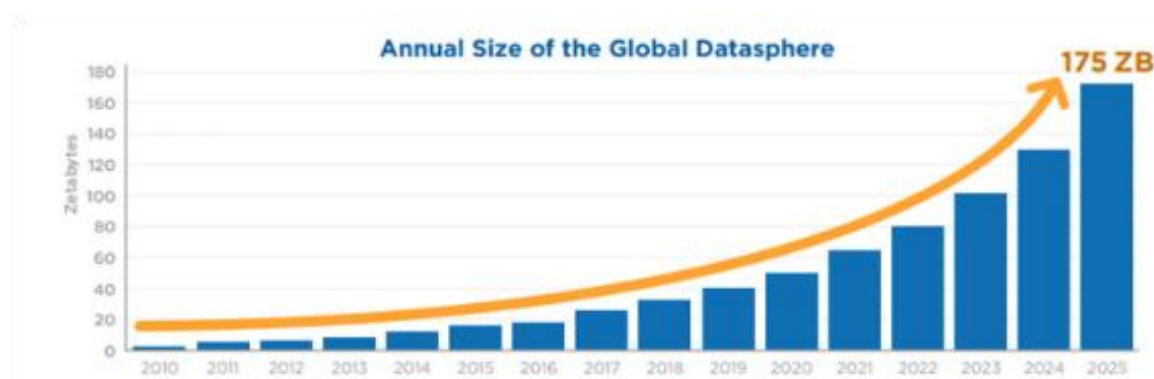


Рисунок 26 – Ежегодный объем данных в мире, 2010 - 2025
Источник: Data Age 2025, sponsored by Seagate with data from IDC Global DataSphere, Nov. 2018

Такое увеличение привело к тому, что структурированные и неструктурированные данные огромных объемов и разнообразия стали называться собирательным термином – *Big Data* (или Большие данные).

Большие данные. В 2001 г. Компания Gartner предложила следующее определение: *Большие данные* – это разнообразные данные, которые поступают с постоянно растущей скоростью и постоянно растущим объемом. Соответственно, это данные, обладающие тремя отличительными свойствами: разнообразием, высокой скоростью поступления и большим объемом.

Для того, чтобы показать, насколько это большое число, достаточно сказать, что для того, чтобы скачать этот объем данных со скоростью 100 мегабит в секунду, понадобится около 500 миллионов лет, а чтобы скачанные данные сохранить – пачка DVD-дисков высотой более 23 расстояний от Земли до Луны.

Помимо собственно увеличения объема хранимой информации, важной тенденцией является увеличение данных, генерируемых в реальном времени. Так, по прогнозу IDC, к 2025 году количество одновременно работающих связанных между собой устройств, генерирующих данные в реальном времени, превысит 150 миллиардов. Одновременно изменяется распределение между процентом данных, хранимых на конечных компьютерах пользователей, в хранилищах различных организаций и в облачных хранилищах, в первую очередь за счет увеличения доли последних. Это значит, всё больший объем данных хранится централизованно и, следовательно, доступен для обработки и анализа. При этом, по мнению аналитиков IDC, тенденция по увеличению данного объема сохранится и в дальнейшем, и к 2025 году облачные хранилища будут содержать уже более 40% от общего объема информации.

Источники больших данных. Существует множество потенциальных источников происхождения больших данных, но, как правило, выделяют несколько основных, таких как социальные данные, аппаратные данные и данные транзакций.

Социальные данные (social data) генерируются в процессе функционирования крупнейших социальных сетей, онлайн-магазинов, интернет-порталов различной тематики, онлайн-библиотек. К таким данным относятся всевозможные лайки, сообщения, комментарии и отзывы, пользовательские обзоры.

Объем генерируемых ежедневно социальных данных можно представить, исходя из того, что только на Facebook в 2019 г. каждый день загружалось в среднем более 300 миллионов фотографий, выполнялось более 9 миллиардов просмотров видеозаписей, а какие-либо действия выполняли примерно 1,6 миллиарда пользователей.

Аппаратные данные (machine data) – это данные, получаемые в процессе функционирования различных устройств. Сюда можно отнести

данные мониторинга производственных линий и датчиков промышленного оборудования, медицинских приборов, различных бытовых устройств (в том числе интернета вещей), камер видеонаблюдения, фитнес-трекеров.

Масштаб генерируемых аппаратных данных можно оценить при помощи следующего примера: компания Аэробус размещает в каждом крыле современного самолета модели А380-1000 по 10000 датчиков в каждом крыле, что совокупно приводит к созданию примерно 7Тб данных в день, при этом только в США каждый день выполняется не менее 5000 коммерческих вылетов в день.

Данные транзакций (transactional data), как правило, относятся к финансовому сектору и представляют собой сведения о чеках, переводах, данные об оплате и доставке заказов и т.д.

Существует огромное количество доступных каждому открытых источников Больших данных, которые можно использовать для научной или практической работы. К ним относятся различные порталы государственных данных, например, Портал открытых данных европейского союза (European Union Open Data Portal), содержащий различные государственные данные стран Европейского Союза; Healthdata.org, содержащий наборы медицинских данных разного типа; Национальный центр климатических данных (National Climatic Data Center), содержащий метеорологические и климатические данные. Социальная сеть Facebook предоставляет доступ к открытым данным пользователей через Graph Api. Различные сервисы Google также предоставляют доступ к своим данным: Google Finance содержит данные рынков акций за 40 лет, обновляемые в режиме реального времени; Google Books Ngrams предоставляет возможность поиска по полным текстам всех книг, оцифрованных в рамках сервиса Google Books.

Но не вся информация, хранимая и генерируемая огромными объемами, может быть причислена к Большим данным. Как правило, этим термином называются данные большого объема, которые соответствуют критериям 3V: Volume, Velocity и Variety.

- Критерий «Volume» (объем): данных должно быть действительно много, например, крупная социальная сеть, такая как Facebook или российские Вконтакте или Одноклассники, ежедневно генерирует миллионы действий пользователя, которые могут повлечь за собой создание каких-либо сущностей, пригодных для анализа.

- Критерий «Velocity» (скорость): непрерывная генерация огромного объема данных предъявляет высочайшие требования к скорости их обработки.

- Критерий «Variety» (разнообразие): современные алгоритмы и технические средства позволяют анализировать любую структурированную и неструктурированную информацию.

Для дальнейшего уточнения понятия «Большие данные», кроме

классических 3V, разные эксперты предлагают и другие наборы критериев, такие как 4V, 5V и даже 7V, добавляя к уже перечисленным такие понятия как «Veracity» – достоверность данных, «Variability» – зависимость данных от контекста, «Visualization» – возможность визуализации результатов анализа и «Value» – необходимость извлечения максимальной пользы из результатов анализа больших данных.

Принято считать, что работа с Большими данными подразделяется на четыре обобщенных этапа:

- 1) Сбор необработанных данных;
- 2) Хранение;
- 3) Обработка и анализ данных;
- 4) Визуализация.

Значимость технологий Big Data в том, что с их помощью стало возможно:

- оперативно анализировать огромный массив данных;
- выявлять в нем скрытые, неочевидные закономерности;
- принимать оптимальные решения.

Так, например, Сбербанк успешно применяет технологии работы с Большими данными для решения множества задач, от оптимизации внутренних процессов до оценки рисков и кредитного скоринга (Score – счет; т.е. скоринг – используемая банками система оценки клиентов на основе статистических методов – это компьютерная программа, куда вводятся данные потенциального заемщика, а в ответ выдается результат – стоит ли предоставлять ему кредит), используя не только традиционные данные, такие как кредитная история, но и дополнительные, такие как схемы социальных связей из социальных сетей и данные сотовых операторов.

Технологии обработки Больших данных. Объемы, скорость изменения и разнородный характер Больших данных предъявляют высокие требования к технологиям работы с ними. Само собой разумеется, что не может быть и речи о ручной обработке данных сведений. Но и большинство вычислительных систем демонстрируют недостаточную производительность для решения поставленной задачи. По этой причине особый интерес представляют технологии по обработке данных (рис. 27).



Рисунок 27 – Технологии для организации распределенных высокопроизводительных вычислений

Рассмотрим некоторые из них:

Hadoop – разработка фонда Apache Foundation, свободно распространяемая платформа, позволяющая выполнять вычисления на большом множестве узлов (сотнях тысяч). На текущий момент является, наверное, самым часто упоминаемым программным инструментом в сфере Больших данных.

Apache Spark – платформа для работы со слабоструктурированными и неструктурированными данными большого объема, входящая в инфраструктуру проектов Hadoop.

NVidia CUDA – технология, представленная компанией NVidia, позволяющая выполнять математические расчеты.

Вышеуказанным списком актуальные технологии, конечно, не ограничиваются. Стоит также упомянуть NoSQL базы данных различного типа, такие как Apache Cassandra, ClickHouse, CouchDb, Neo4j, платформы обработки данных HPCC, Cloudera, Apache Storm и т.д. В целом, высокий спрос на Большие данные приводит к тому, что актуальный стек (stack - набор) технологий постоянно меняется, поэтому под конкретный проект выбираются оптимальные инструменты.

Однако для практического применения Больших данных, кроме технических средств обработки, необходимо «знать», как извлекать из них полезную информацию и как их анализировать. Возникает необходимость в соответствующих методах. В соответствии с классификацией консалтинговой компанией McKinsey основными методами анализа являются: методы класса Data mining (добыча данных, интеллектуальный анализ данных); Data fusion and integration (Смешение и интеграция данных из разных источников и проведение анализа); Simulation (Имитационное моделирование с целью строить модели так, как если бы они проходили в действительности); A/B testing (Маркетинговый анализ, чтобы понять, какие элементы улучшают целевой показатель); Machine Learning (Машинное обучение для получения комплексных прогнозов); и др.

Подчеркнем, что большое внимание в настоящее время уделяется технологиям машинного обучения.

При помощи машинного обучения успешно решаются *задачи*:

- прогнозирования (по ряду значений параметров прогнозируется их значения в будущем);
- классификации (по набору значений параметров определяется их класс);
- кластеризации (группировка схожих объектов в единые кластеры);
- снижения размерности (уменьшения числа параметров путем определения взаимосвязей между ними) и выявления аномалий (определения аномальных значений параметров, возникающих, например, в результате каких-либо выбросов).

На практике для решения этих задач наиболее перспективной технологией машинного обучения является Искусственная Нейронная Сеть.

Искусственная Нейронная Сеть (ИНС/Artificial neural networks) – это технология, включающая набор алгоритмов, аналогичная по своему устройству настоящим биологическим нейронным сетям, повторяющая работу нервных клеток мозга, способная накапливать и использовать прошлый опыт, а также обучаться. Она состоит из набора взаимодействующих между собой вычислительных элементов (нейронов), которые могут отправлять или получать сигналы. Несмотря на кажущуюся простоту структуры, искусственные нейронные сети способны решать весьма комплексные проблемы. Так, в рамках работы с большими данными их можно применять для всего спектра упомянутых выше задач, при этом, в зависимости от архитектуры конкретной нейронной сети, они могут обучаться как с учителем, так и без учителя. Одной из задач, с которой легко справляется ИНС, является выявление взаимосвязей, что помогает для распознавания образов (речи, голоса, текста, изображений и т.п.) и для построения будущего прогноза.

Кроме вышеуказанной технологии, существуют другие алгоритмы Машинного обучения:

- решающие деревья,
- градиентный бустинг,
- метод главных компонент,
- метод опорных векторов,
- линейная регрессия,
- логистическая регрессия,
- метод кластеризации,
- алгоритмы иерархической кластеризации.

На текущий момент используется множество программных реализаций этих и других алгоритмов.

Проблемы внедрения больших данных. Несмотря на то, что технологии Больших данных за последнее время перешли из разряда перспективных тенденций в область практического применения, результаты их анализа не обязательно позволяют решить актуальные проблемы, так как существуют объективные факторы, которые могут помешать «вытащить» из них что-то полезное:

- Ложные зависимости. Известно, что в общем случае из корреляции не следует причинность, то есть из того, что события А и Б происходят одновременно, вовсе не обязательно следует, что событие А является причиной события Б. Известным примером ложной зависимости является зависимость снижения числа убийств в США от падения доли рынка Microsoft Internet Explorer.

- Недостаточная репрезентативность данных. То, что данных много, автоматически не означает, что в них есть: а) что-то интересное б)

данные, описывающие полный спектр необходимых ситуаций. Так, оценивать товар/продукт/услугу по отзывам из какой-либо социальной сети можно только с учетом «портрета» среднестатистического пользователя, четко понимая, что мнения людей, не соответствующих данному «портрету», не будут учтены.

- Проблема редких или уникальных объектов. Перекликается с предыдущим пунктом – чем реже встречается в выборке какой-то объект, тем сложнее его определить.

- Проблема каскадного применения технологий анализа данных.

- Последовательное применение алгоритмов анализа данных к результатам работы других алгоритмов существенно снижает качество итогового результата.

- Организационно, существенной проблемой при работе с Большими данными является нехватка квалифицированных кадров, как технических, отвечающих непосредственно за проведение анализа, так и руководящих, способных поставить четкие цели, которых необходимо добиваться.

- Кроме того, практический эффект от внедрения технологий Больших данных может быть существенно меньше ожидаемого ещё и по причине того, что имплементация технологий Больших данных в рамках предприятия требует существенных финансовых затрат, причем как очевидных, таких как расходы на приобретение нового оборудования и программного обеспечения для их хранения и обработки, так и косвенных, на расширение штата за счет администраторов, аналитиков и разработчиков, обеспечение безопасности данных, повышенный расход электроэнергии и т.д.

Помимо всего, ключевой сложностью, которую необходимо решать в случае работы с Большими данными, является то, что обрабатываемые массивы слишком велики, чтобы поместиться в память видеоускорителей или даже оперативную память, что приводит к сложностям при поддержании необходимого уровня производительности. Среди программных библиотек, так или иначе решающих эту проблему, можно перечислить: MLib (входит в состав Apache Spark), tensorflow, являющаяся разработкой компании Google и предназначенная в первую очередь для работы с нейронными сетями, Vowpal Wabbit (на текущий момент поддерживается Microsoft Research) и другие.

Применение Больших данных в промышленности, маркетинге, медицине и безопасности. В зависимости от отрасли хозяйственной деятельности, анализ Больших данных применяется для достижения разных целей. Так, в промышленности основным направлением применения Больших данных является решение задач обнаружения, прогнозирования и предотвращения неисправностей путем анализа как структурированных данных, таких как паспортные сведения об оборудовании, так и

неструктурированных, таких как данные датчиков, сообщений журналов и т.д.

Приведем несколько примеров использования Больших данных в промышленности. Производственное оборудование на заводах компании Intel непрерывно передает данные в единый центр, что позволяет снизить скорость реакции на внештатную ситуацию с нескольких часов до 30 секунд.

Магнитогорский металлургический комбинат и Yandex Data Factory в рамках проекта «Снайпер» разработали математические модели плавки стали с целью оптимизация расхода ферросплавов и добавочных материалов при производстве стали в ККЦ.

Компания BMW использует Большие данные для обнаружения уязвимостей в прототипах своих автомобилей на этапе разработки, начиная с 2014 года. Это позволяет компании устранять выявленные проблемы до начала их производства. Производитель авиационных двигателей Rolls-Royce, производящий авиационные реактивные двигатели, применяет Большие данные для моделирования новых двигателей и оценки их потенциальной полезности.

В сфере торговли, рекламы и продвижения применение анализа Больших данных позволяет решать задачи оптимизации цен, привлечения новой аудитории и удержания лояльных клиентов, определять удовлетворенность клиентов сервисом или товаром на основании неструктурированных отзывов.

Российский интернет-магазин Ozon использует Большие данные и машинное обучение для решения задачи пополнения складов путем прогнозирования потребности в конкретных товарах и для решения задачи персонализированного предложения рекомендуемых товаров.

Крупные сервисы электронной почты, такие как Gmail, Mail.ru, Yandex и другие, используют технологии Больших данных для фильтрации спама, интеллектуальной сортировки почтовых ящиков и предотвращения нежелательной активности.

В сфере безопасности широко применяются алгоритмы распознавания лиц, обученные при помощи большого массива накопленных данных, для организации интеллектуального видеонаблюдения, анализа биометрии и т.д.

Большие данные в сфере безопасности применяются в первую очередь различными государственными органами. Агентство Национальной безопасности в США применяет большие данные для эффективного слежения за предполагаемыми организаторами террористических актов, в том числе с использованием анализа их активности в сети Интернет.

Полиция Лос-Анджелеса применяет анализ Больших данных для организации проактивной безопасности. Анализ частоты преступных

действий разного типа по районам позволяет перераспределять имеющиеся ресурсы для более эффективного патрулирования.

Применяемая в Москве система распознавания лиц сопоставляет лица из видеопотока с базой лиц, находящихся в розыске, и в случае совпадения уведомляет находящихся поблизости сотрудников полиции. Эксперимент систем распознавания на городской инфраструктуре стартовал в 2017 году, а в метро – в марте 2018-го.

В сфере медицины Большие данные применяются для решения задач диагностики, особенно в тех случаях, когда для постановки диагноза требуется детальный анализ медицинских изображений. Алгоритмы машинного обучения зачастую способны увидеть в таких изображениях закономерности, недоступные глазу врача-человека. Так, один из медицинских алгоритмов компании Google способен по фотографии глаза человека с вероятностью в 0,97 определить, кому он принадлежит, мужчине или женщине. До разработки данного алгоритма никто даже и не предполагал, что глаза мужчины или женщины могут чем-то отличаться. Или United Healthcare, крупнейшая медицинская страховая компания США, применяет Большие данные для решения задачи построения максимально полного представления о более чем 85 миллионов пациентов. Применение полученных инструментов позволяет повысить качество клинического обслуживания, пресекать мошеннические действия со страховкой и контролировать финансовые показатели. Другой случай, ученые из Университета Кейптауна УСТ на основе анализа накопленной генетической информации обнаружили, что у различных видов рака имеются четкие генетические маркеры (специфическая комбинация генов), а это позволяет осуществить ранее диагностирование и выявить риск заболевания.

Крупнейшими игроками на рынке анализа Больших данных естественным образом являются организации, так или иначе связанные с их генерацией. Наличие большого объема доступных данных и потребность в результатах их анализа вынуждает крупные компании создавать подразделения, занимающиеся внедрением и разработкой технологий Больших данных. Сюда относятся такие интернет-компании, как Google, Facebook, Apache, Microsoft, Amazon, производители баз данных Oracle, сервисы такси Uber, Gett и т.д.

Широкий спектр образовательных учреждений, дающих качественное техническое образование, позволяет поддерживать конкурентоспособность России в сфере подготовки научных и прикладных специалистов в области Больших данных. Образовательные программы и научные исследования такого рода существуют в университетах СПбПУ, СПбГУ, ИТМО, НИУ ВШЭ, МФТИ, МГУ, НГУ, ТПУ и др.

В сфере бизнеса, кроме упомянутых ранее компаний Яндекс и Мейл.Ру Групп, Большими данными занимаются подразделения российских крупных банков, таких как Сбербанк, Альфа-Банк и Tinkoff, операторы

услуг сотовой связи Megafon, МТС, Билайн и другие.

Для продвижения технологий Больших данных в 2018 году компании Mail.Ru Group, oneFactor, «МегаФон», «Сбербанк», «Яндекс» и Tinkoff создали Ассоциацию участников рынка Больших данных.

2.8 Виртуальная реальность. Дополненная реальность. Практическое применение виртуальной и дополненной реальности

Процессы социализации, образования и профессиональной деятельности в наше турбулентное время сопровождаются быстро меняющимся форматом подачи информации. Скажем, если еще некоторое время назад обучение происходило через привычную реальность, например, мы приобретали знания путем прочтения книг в обычном или электронном виде, то в настоящее время все чаще можно услышать о новом формате коммуникации – «виртуальной» (VR) и «дополненной» (AR) реальности. И если еще вчера эти технологии ассоциировались с чем-то из области научной фантастики, то уже сегодня – это наша настоящая реальность. Зачастую понятия VR и AR перемешиваются, что приводит к путанице. В действительности понять разницу довольно просто. VR блокирует реальный мир и погружает пользователя в цифровую вселенную: если вы надеваете гарнитуру и вместо гостиной вдруг оказываетесь в гуще схватки с зомби, то это VR. AR добавляет элементы цифрового мира в реальный: если вы идете по улице и вдруг на тротуаре перед вами появляется покемон Дрэгонайт, то это AR.

Виртуальная реальность. Виртуальная реальность – иллюзия взаимодействия с окружением, создаваемая у человека с помощью аппаратно-программных средств: головных дисплеев (head-mounted displays), управляющих перчаток (cyber gloves), трекеров (treker) и др.

Отцом виртуальной реальности по праву считается Мортон Хейлиг. В 1962 он запатентовал первый в мире виртуальный стимулятор под названием «Сенсорам». Аппарат представлял собой громоздкое устройство, внешне напоминающее игровые автоматы 80-х, и позволял зрителю испытать опыт погружения в виртуальную реальность, например, прокатиться на мотоцикле по улицам Бруклина. Но изобретение Хейлига вызывало недоверие у инвесторов, и учёному пришлось прекратить разработки [49].

Через несколько лет в 1968 г. после Хейлига похожее устройство представил профессор Гарварда Айван Сазерленд, который вместе со студентом Бобом Спрауллом создал «Дамоклов меч» – первую систему виртуальной реальности на основе головного дисплея. Очки крепились к потолку, и через компьютер транслировалась картинка. Несмотря на столь громоздкое изобретение, технологией заинтересовались ЦРУ и НАСА [49].

По мнению разработчиков компьютерных игр компании Unity, виртуальная реальность – это компьютерное моделирование 3D-среды,

которая кажется человеку, взаимодействующему с ней, исключительно реальной благодаря специальному электронному оборудованию. Разработчики ставят задачу создать у пользователя ощущение присутствия в виртуальной среде.

Ввиду отсутствия единого определения будем пользоваться следующим: *Виртуальная реальность (Virtual Reality, VR)* – созданный техническими средствами мир/сценарий/окружение, передаваемые человеку через его ощущения: зрение, слух, осязание и пр. Что же касается передачи запахов и вкусовых ощущений, то работы ведутся, но о каких-либо значимых достижениях в этих областях говорить пока рано. Поскольку речь идет о полной замене реального окружения искусственно созданными объектами и средой, то данную технология зачастую называют искусственной реальностью (рис. 28).



а)



б)

Рисунок 28 – Виртуальная (а) и дополненная (б) реальность

«Добавление» и «воссоздание» искусственных объектов нуждается в оборудовании, которое способно «обмануть» наши органы чувств и «внушить» нам то, чего в действительности нет. Имеющиеся различия в решаемых технологиями VR и AR задачах закономерно приводят к отличиям в конструкции используемого оборудования.

В случае с VR речь идет об ограничении сигналов, поступающих к нашим органам чувств из окружающего мира и замену их на искусственно сгенерированные сигналы. С данной задачей, на сегодняшний день, успешно справляются очки виртуальной реальности (VR-гарнитура). Надевая очки виртуальной реальности, пользователь закрывает от себя световое излучение, поступающее извне. С другой стороны, наличие цифрового дисплея во внутренней части VR-гарнитуры обеспечивает источник «нового» генерируемого сигнала. Таким образом, пользователь видит искусственно созданную картинку, «обманывающую» его зрение. Точно так же, VR-гарнитура поступает и со слухом пользователя. Имеющиеся в конструкции наушники ограничивают доступ внешних звуков и при этом снабжают пользователя искусственно воссозданными звуковыми сигналами.

Тем не менее, сами по себе экраны и наушники, предоставляя нам информацию в аудио и видео форматах, выполняют те же функции, что и домашний кинотеатр или любые другие мультимедиа системы. Что же

будет отличать VR-гарнитуру от других медиа устройств? Главное отличие заключается в достоверности происходящего. Просматривая тот или иной видеоряд на мониторе мультимедиа устройства, пользователю приходится видеть разворачивающийся сюжет исключительно с одного ракурса – того, который предложил автор. Пользователь не может взаимодействовать с отображаемыми объектами, а его действия и манипуляции не будут находить отклика и приводить хоть к чему-либо в детально прописанном сценарии. Технологии виртуальной реальности не только предоставляют вам графическое и аудио представление виртуального пространства, но и обеспечивают отображение действий пользователя в нем.

Само собой разумеется, что уровень достоверности обеспечивается сложностью реализации конструкции подобных устройств. По этой причине следует понимать, что не все VR-устройства предоставляют одинаковый опыт. Существует несколько типов VR-гарнитур. К наиболее бюджетным можно отнести гарнитуры, которые используют экран смартфона для получения виртуальной реальности. Наиболее известными представителями данной «бюджетной» группы являются Samsung Gear VR и Google Cardboard. К более дорогостоящим относятся автономные решения – гарнитуры, оснащенные системами линз и экранов, а также не нуждающиеся в подключении к ПК или же другим вычислительным системам (например, игровым консолям). Ярким представителем данной группы является Oculus Go от компании Facebook. Наиболее дорогие гарнитуры используют подключение к ПК или консолям и позволяют использовать специальные контроллеры, чтобы полностью погрузить пользователя в виртуальную среду. Наиболее популярными являются гарнитуры – HTC Vive, PlayStation VR, Samsung Odyssey+ и Oculus Quest.

Дополненная реальность (Augmented Reality, AR) – это виртуальные объекты, интегрированные в восприятие пользователя, как часть реальной окружающей картины мира в режиме реального времени. Другими словами, речь идет об инструментах для отображения любых виртуальных объектов в реальном мире – их «добавлением» в реальный мир. При помощи привычных нам с вами устройств существует возможность добавить на картину реального мира всё, что только можно пожелать. Другими словами, дополненная или расширенная реальность – это объединение реального мира с цифровым миром через смартфон или другой гаджет. Один из очевидных примеров использования технологии – обычная карта, отображающая специальные виртуальные объекты. Это может быть текстовая информация, анимация, трёхмерная модель или что-то другое.

Решение задач в рамках «дополненной» реальности не нуждается в «обмане» органов чувств пользователя. Фактически AR-устройства должны просто графически вывести требуемую информацию максимально информативным и доступным для потребителя образом. AR-устройство также может быть представлено очками со специальным дисплеем. Однако

для того чтобы получить опыт AR, вполне достаточно и обычного мобильного устройства – смартфона или планшета. Основная сложность в рамках данной технологии заключается не в «подмене» поступающих к органам чувств сигналов, а в определении, когда, где и в какой последовательности необходимо вывести «дополнительную» информацию.

Среди интересных AR-устройств можно выделить такие очки дополненной реальности, как Microsoft HoloLens, Magic Leap, а также перспективные AR Glasses от Apple и Orion от Facebook. Данные AR-устройства выступают в качестве аппаратных платформ, однако, программа, написанная под HoloLens, не может быть реализована средствами AR Glasses. Необходимо понимание специфики конкретного устройства, с которым планируется осуществлять работу. Но кто может обладать более полной информацией, чем непосредственно производитель данных устройств? Именно по этой причине большинство производителей параллельно с самим AR-устройством предоставляет и соответствующий инструментарий, значительно упрощающий работу по написанию соответствующих программных решений и ускоряющий их интеграцию. Software development kit (SDK) – комплект средств разработки, позволяющий специалистам по программному обеспечению создавать приложения для определённого пакета программ, программного обеспечения базовых средств разработки, аппаратной платформы, компьютерной системы и прочих платформ [61]. Наиболее популярными и многофункциональными SDK, применяемыми в рамках технологий «дополненной реальности», являются ARCore от Google, ARKit от Apple и Vuforia.

Практическое применение виртуальной и дополненной реальности. По какой причине VR и AR технологии вызывают такой большой интерес в современном мире? Ответом на данный вопрос является предоставление каждому из нас новых, более футуристических, способов предоставления привычной информации. Технологии VR и AR, как более интерактивный подход к работе с информацией, находят своё применение во множестве различных сфер жизни современного общества. Данные технологии позволяют отображать полностью реалистичные 3D модели любых объектов и процессов, от сложных технических устройств до работы человеческого сердца.

Закономерно, что наиболее востребованными новые графические возможности оказываются в сфере маркетинга. VR и AR предоставляют значительные преимущества в процессе продвижения товаров и услуг, а также стимулирования продаж. Так, например, элементами «дополненной реальности» снабжают витрины магазинов, примерочные, интерактивные киоски, а также промо-стенды. Рекламные кампании, проведенные с использованием технологий «дополненной реальности», вызывают большой интерес и эффективно воздействуют на целевую аудиторию, а

также формируют устойчивое положительное впечатление от товара или услуги.

AR широко применяется в маркетинге и ритейле:

- Американская фирма MAC Cosmetics начала устанавливать в своих магазинах AR-стенды, работающие как интерактивные зеркала, на которых можно посмотреть, как будет выглядеть косметика на лице покупательницы.

- В торговом центре в Польше компания Timberland с помощью виртуальной примерочной предложила покупателям померить любую вещь, не заходя в магазин.

- Ведущие бренды, такие как Sephora, Nestle и Jaguar Land Rover являются лидерами в использовании «дополненной реальности». Данные компании экспериментировали с использованием VR/AR-технологий, что привело к успешным и вдохновляющим рекламным кампаниям.

- Крупные ритейлеры, такие как IKEA, «Леруа Мерлен» запустили AR приложения, с помощью которых позволяют пользователям проверить, как мебель может выглядеть в их домах (рис. 31).

Другим примером является сеть гостиниц Marriott, которая представила 4D- кабины «виртуальной реальности» The Teleporter, зайдя в которые, вы отправляетесь в ознакомительный тур по различным уголкам нашей планеты.

Подобная идея была внедрена и в Японии: японская авиакомпания First Airlines предлагает виртуальные туры с 2018 г. в Нью-Йорк, Париж, Рим, на Гавайи и другие города, причем в разные эпохи, благодаря использованию технологий VR. Все происходит как в обычной поездке – пассажир проходит регистрацию, занимает место в имитированном салоне самолета, получает еду разных кухонь мира, испытывает имитацию взлета... Несмотря на ограничения, вызванные COVID-19, эти технологии позволили увеличить спрос в 2020 г. на 50% (рис. 29).

Появление в повседневной жизни VR и AR-решений вызывает сильный эмоциональный отклик у пользователей данными технологиями, и желание быть вовлеченным в происходящее, что способствует лучшей запоминаемости. В связи с этим данные технологические решения активно применяются в образовательных целях. Самым простым примером являются AR-учебники. При направлении на страницы данного учебника камеры смартфона происходит воспроизведение анимированных объектов и процессов, соответствующих содержанию того или иного раздела учебника.



Рисунок 29 – AR App for IKEA (а) и для First Airlines (б)

Ещё одной сферой применения AR-технологий является сфера здравоохранения. Приложение ARnatomy уже помогает будущим врачам изучать реальную модель скелета человека. Другие классы медицинских решений нацелены на непосредственное оказание помощи пациентам. Так, например, зрительное приспособление VA-ST используется людьми со значительной потерей зрения для искусственного создания образа собеседника.

Компания Samsung также принимает активное участие в оказании помощи людям посредством VR-технологий. Запущенная данной компанией программа «Я не боюсь» позволяет людям преодолевать свои фобии. Участники программы проходят курс с использованием очков виртуальной реальности Samsung Gear VR, позволяющих смоделировать те или иные стрессовые ситуации в искусственно созданной обстановке, с целью научить участников справляться с моделируемыми ситуациями в реальной жизни.

Кроме этого, в медицине VR применяют в следующих случаях: лечение аутизма и психических заболеваний; уменьшение хронической боли; снижение тревожности у госпитализированных больных; восстановление зрения; обучение медиков, наблюдение за операциями; репетиции хирургических вмешательств; восстановление воспоминаний после потери памяти (рис. 30).

На сегодняшний день VR и AR-технологии получили настолько широкое распространение, что сложно найти сферы деятельности, в которых данные технологии не нашли бы перспективу для своего использования. Технологии виртуальной и дополненной реальности являются одной из сквозных цифровых технологий, в рамках федерального проекта «Цифровые технологии» национальной программы «Цифровая экономика РФ». В перспективе 4-5 лет Российская Федерация имеет потенциал стать видимым игроком (более 15% объема мирового рынка) на глобальном рынке VR/AR решений. Не менее трех российских компаний к 2024 году могут занять более 30% данного рынка.



а)

б)

Рисунок 30 – VR в медицине (а) и совместный проект ЦТСС и СПбПУ (б)

По оценке одного из крупнейших в мире инвестиционных банков Goldman Sachs, к 2025 году мировой рынок VR/AR вырастет до \$80 млрд. (\$45 млрд – оборудование, \$35 млрд – программное обеспечение). Таким образом, инвестиции в российский сектор виртуальной и дополненной реальности в пятилетней перспективе могут составить около 2667% прибыли и стать самыми высокоэффективными вложениями в истории РФ.

В соответствии с Дорожной картой развития «сквозной» цифровой технологии «Технологии виртуальной и дополненной реальности» наиболее перспективными отраслями применения VR/AR-технологий являются сферы образования и корпоративного обучения, промышленности и строительства, здравоохранения, а также массовые потребительские сервисы.

В России уже на сегодняшний день успешно реализуются масштабные проекты, среди которых можно выделить проект АО «Центр технологий судостроения и судоремонта (ЦТСС)» совместно с СПбПУ с привлечением AR-VR, суть которого заключалась в создании цифрового двойника предприятия с демонстрацией процесса производства и выведения информации о технико-экономических показателях. Готовое приложение в связке с интерактивным макетом позволило создать виртуальное отображение завода с возможностью заглянуть внутрь помещений, с панорамным обзором на 360 градусов (рис. 32б)

Другим ярким проектом является разработанная интерактивная презентация для задач Роскосмоса подразделения Главкосмос. Данная интерактивная презентация используется на международных выставках для демонстрации процесса запуска ракеты-носителя, стыковки с МКС с возможностью самостоятельного управления, панорамы внутри станции, момента отстыковки и спуска капсулы с космонавтами. Презентация получила много внимания и положительную оценку профессионалов на 53-м Международном авиакосмическом салоне Париж-Ле-Бурже.

2.9 Искусственный интеллект. Машинное обучение. Алгоритмы машинного обучения. Нейронные сети. Сферы применения искусственного интеллекта

В 1935 г. британский исследователь «отец информатики и первый хакер» Алан Тьюринг описал абстрактную «мыслящую машину» – теоретический прообраз современного компьютера. После в 1951 г. самая ранняя успешная программа искусственного интеллекта была написана Кристофером Стрейчи. В 1952 г. эта программа могла играть с человеком в шашки, удивляя всех своими способностями предсказывать ходы. В 1953 году Тьюринг опубликовал классическую раннюю статью о шахматном программировании.

Прошло совсем немного времени, и задачи создания компьютерных шахматистов превратились в задачи создания компьютерных шахматистов с искусственным интеллектом. А для этого стало крайне важно научить компьютеры выполнять обработку большого объёма данных и выявлять в них закономерности, другими словами, создать компьютер с интеллектом человека.

На сегодняшний день существует две смежные области, занимающиеся исследованием когнитивных функций головного мозга человека и их применением для решения прикладных задач. Данными областями являются «Искусственный интеллект» и «Нейротехнологии».

Искусственный интеллект (ИИ) – комплекс технологических решений, имитирующий когнитивные функции человека (включая самообучение и поиск решений без заранее заданного алгоритма) и позволяющий при выполнении задач достигать результаты, как минимум сопоставимые с результатами интеллектуальной деятельности человека. Другими словами, это область информатики, которая занимается разработкой интеллектуальных компьютерных систем, то есть систем, обладающих возможностями, которые традиционно связывают с человеческим разумом, – понимание языка, обучение, способность рассуждать, решать проблемы и т.д. [51]

Нейротехнологии – технологии, которые используют или помогают понять работу мозга, мыслительные процессы, высшую нервную деятельность, в том числе технологии по усилению, улучшению работы мозга и психической деятельности [39]. Другими словами, это набор технологий, связанных с пониманием принципов работы мозга и различных аспектов сознания, мыслительной деятельности, высших психических функций.

Если искусственный интеллект пытается всего лишь имитировать когнитивные функции человека, создать их математическую модель, то разработки в области нейротехнологий ставят перед собой задачу

выяснения основных принципов устройства человеческого мозга и особенностей его работы.

Представленные направления исследований всесторонне затрагивают высшую нервную деятельность человека и постепенно раскрывают секреты функционирования человеческого мозга. Получаемые в рамках данных исследований знания во многом обеспечили возможность разработки искусственных систем, копирующих когнитивные функции человека, и определили направление развития систем ИИ.

Основным *продуктом исследований ИИ* являются *Интеллектуальные системы (ИС)* – это технические или программные системы, которые реализуют некоторые черты человеческого интеллекта, дающие возможность выполнить трудоемкие задачи, решение которых человеком в реальном времени не представляется возможным.

ИСы достаточно тесно внедрились в нашу жизнь. Одним из примеров подобных систем является система автоматической фиксации дорожных нарушений на наблюдаемом дорожном участке. Работа данной системы основывается на распознавании образов участников дорожного движения – автомобилей, пешеходов, велосипедистов, а также распознавании и определении элементов дорожно-транспортной инфраструктуры – линий разметки, светофоров, знаков и прочих элементов.

Другим примером ИС в повседневной жизни могут служить многочисленные устройства бытового назначения, такие как роботы-пылесосы. В число их функций входит построение карты помещения для уборки, вычисление оптимального маршрута для перемещения и избегания столкновений с подвижными объектами – людьми и домашними животными. Разработкой такого рода устройств занимается направление «Робототехника».

Многие ИСы представляют собой исключительно программные решения. Примером может служить чат-бот, который осуществляет информационную или информационно-техническую поддержку пользователей некоторого продукта. Он содержит в себе компоненты, производящие анализ запроса пользователя, и экспертную систему, содержащую ответы на распространенные вопросы.

Сферы применения ИИ достаточно широки и охватывают как привычные слуху технологии, так и появляющиеся новые направления, далекие от массового применения. ИИ активно применяется для решения задач, связанных с:

- автоматическим переводом;
- получением бизнес-аналитики;
- распознаванием зрительных образов, текстов и символов;
- созданием интеллектуальных экспертных систем;
- извлечением требуемой информации;
- анализом различных изображений.

Машинное обучение (Machine learnin) – один из разделов ИИ, алгоритмы, позволяющие компьютеру делать выводы на основании данных, не следуя жестко заданным правилам. То есть машина может найти закономерность в сложных и многопараметрических задачах (которые мозг человека не может решить), таким образом находя более точные ответы. Как результат – верное прогнозирование. Цель машинного обучения – частично или даже полностью автоматизировать решение различных сложных аналитических задач [41].

Машинное обучение – это также раздел исследований, связанный с изучением методов построения алгоритмов, способных самостоятельно обучаться, с целью решения определенного набора задач. Данные методы являются актуальными в тех ситуациях, когда не существует четкого решения какой-либо поставленной задачи. Ключевой особенностью машинного обучения является то, что оно позволяет не задавать формальные строгие правила поведения, а обучаться на основании накопленных примеров в некоторой предметной области. Однако для эффективного обучения требуется достаточно большое количество данных.

Машинное обучение строится на трех китах (рис. 31):

А) данные – базовая информация, обычно полученная от клиента. Сюда входят любые выборки данных, работе с которыми нужно обучить систему;

Б) признаки – эта часть работы проводится в тесном сотрудничестве с клиентом. Мы определяем ключевые бизнес-потребности и совместно решаем, какие именно характеристики и свойства должна отслеживать система в результате обучения;

В) алгоритм – выбор метода для решения поставленной бизнес-задачи. Эту задачу мы решаем без участия клиента, силами наших сотрудников [41].



Рисунок 31 – «Три кита» Машинного обучения

Чем больше данных мы загрузим в систему, тем лучше и точнее она будет работать. Сами данные напрямую зависят от задачи, которая стоит перед машиной. Хорошая выборка данных дорогого стоит, ведь именно она отвечает за точность прогнозирования, которую вы получите в итоге. Очень важно не ограничивать сбор данных человеческим мышлением, а предоставлять максимум разрозненной информации, поскольку машина может увидеть пользу и взаимосвязи там, где человек их не заметит.

Чем более точно будут подобраны или найдены признаки (свойства, метрики, фичи, характеристики, features), тем более эффективным будет решение, например: в случае с автомобилем признаками будут пробег, количество цилиндров, максимально возможная скорость. В случае с покупателем: возраст, пол, образование, уровень дохода и т.д. В случае с животными: порода, рост, длина от кончика хвоста до носа, окрас [41].

Поскольку алгоритм (Algorithm) – это система последовательных операций для решения определенной задачи (иными словами – метод решения), то под каждую конкретную задачу можно подобрать отдельный изящный алгоритм. Именно от выбранного метода напрямую зависит скорость и точность результата обработки исходных данных.

Существует несколько способов машинного обучения. В общем случае выделяют обучение с учителем, обучение без учителя и с подкреплением.

Обучение с учителем применяют, когда нужно научить машину распознавать объекты или сигналы. Общий принцип обучения с учителем - «смотри, вот это дверь и это тоже дверь, и вот это тоже дверь».

При обучении без учителя имеется только набор данных и ИИ должен самостоятельно обучиться, как эти данные сгруппировать наилучшим образом или уменьшить их размерность. Алгоритмы изучают сходства и могут обнаружить различие и выполнить обнаружение аномалий, распознавая, что является необычным или несхожим [41].

Смешанное или обучение с подкреплением используется там, где надо сделать оптимальный выбор, т.е. выполнить поставленные задачи во внешней среде имея множество возможных вариантов действия. Например, в компьютерных играх, трейдинговых операциях, для беспилотной техники.

По типу применяемых алгоритмов можно выделить два вида:

А) классическое обучение – известные и хорошо изученные алгоритмы обучения, разработанные в основном более 50 лет назад для статистических бюро. Подходит в первую очередь под задачи работы с данными: классификация, кластеризация, регрессия и т.п. Применяют для прогнозирования, сегментации клиентов и так далее.

Б) нейронные сети и глубокое обучение – наиболее современный подход к машинному обучению. Нейронные сети применяются там, где нужны распознавание или генерация изображений и видео, сложные

алгоритмы управления или принятия решений, машинный перевод и подобные сложные задачи [41].

В последнее время наибольший прогресс произошел в решении задач ИИ путем машинного обучения нейронных сетей.

Суть нейронной сети заключается в том, что при помощи искусственных нейронов она моделирует работу человеческого мозга (нейронов), решающего определенную задачу, самообучается с учетом предыдущего опыта и с каждым разом совершает все меньше ошибок. Нейросети являются одним из видов машинного обучения, а не отдельным инструментом [41].

Нейронная сеть – один из способов реализации ИИ. Нейронная сеть представляет собой последовательность нейронов, соединенных друг с другом особыми связями – синапсами. Структура нейронной сети перекочевала в компьютерные технологии из биологии. Она является грубым представлением связей внутри головного мозга человека. Такая структура позволяет анализировать и запоминать различного рода информацию. Нейронная сеть может не только анализировать информацию, но и сохранять её в сжатом виде – аналог механизма памяти у человека. Современные нейронные сети содержат сотни миллионов нейронов, что позволяет им решать широкий спектр задач, порой даже превосходя способности человека при решении некоторого рода задач (рис. 32).

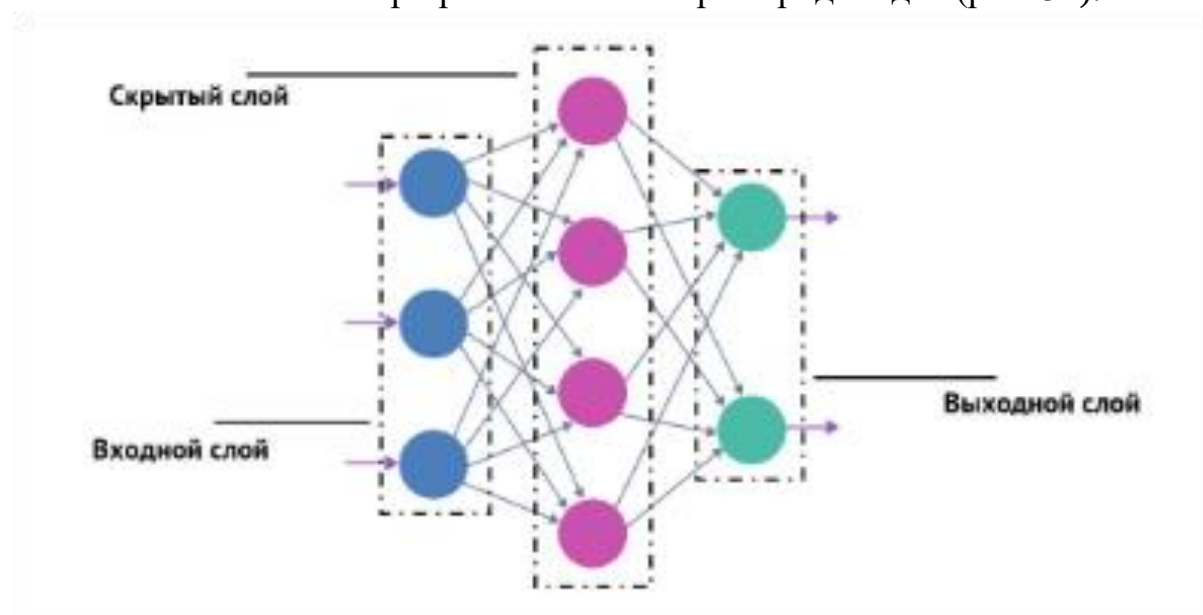


Рисунок 32 – Устройство нейронной сети

Нейронные сети могут применяться для решения разнообразных задач, требующих аналитических вычислений, подобных тем, которые решает мозг человека. Самыми распространенными классами задач являются:

– Классификация – определение принадлежности объекта определенному классу. Например, требуется определить на изображении, что на нем изображено – кошка, собака, человек или иной объект.

– Предсказание – возможность предсказывать следующие значения в последовательности некоторых данных. Это может быть прогнозирование погоды, биржевых котировок, пробок на дорогах и многих других вещей.

– Распознавание – способность нейронной сети найти в данных заданный объект. Примером может служить идентификация пользователя по изображению.

Для того, чтобы понять, как работают нейронные сети, необходимо выяснить, из каких элементов они состоят. В простейшем случае нейронная сеть содержит в себе непосредственно нейрон, синапсы и функцию активации.

Нейрон – это основная вычислительная единица, которая получает информацию от других нейронов, осуществляет над ней некоторые вычисления и передает её дальше. Существует три основных типа нейронов: входной нейрон, нейрон скрытого слоя и нейрон выходного слоя. Поскольку число нейронов в сети достаточно велико, то вводят понятие слоя. Слой – это совокупность нейронов, находящихся на одной глубине сети.

Синапс представляет собой связи между нейронами. Параметр синапса – вес, который позволяет изменять информацию между нейронами. Нейрон, содержащий более важную информацию, будет иметь больший вес за счет связи посредством синапса. Таким образом, совокупность нейронов и синапсов образует нейронную сеть, которая может быть обучена выполнению определенных задач за счет подстройки весовых коэффициентов сети.

Функция активации – это особая функция, которая преобразовывает информацию на выходе нейрона.

Говоря простыми словами, ИИ – это грубое отображение нейронов в мозге. Сигналы передаются от нейрона к нейрону и, наконец, выводятся – получается числовой, категориальный или генеративный результат. Это можно проиллюстрировать на таком примере: если система делает снимок кошки и обучена распознавать, кошка это или нет, первый слой может идентифицировать общие градиенты, которые определяют общую форму кошки. Следующий слой может идентифицировать более крупные объекты, такие как уши и рот. Третий слой определяет более мелкие объекты (например, усы). Наконец, основываясь на этой информации, программа выведет «да» или «нет», чтобы сказать, является ли это кошкой или нет. Программисту не нужно «говорить» нейронам, что это те функции, которые они должны искать. ИИ изучил их сам по себе, тренируясь на многих изображениях (как с кошками, так и без кошек) [51].

Рассмотрим основные классы нейронных сетей: сверточные нейронные сети и рекуррентные нейронные сети.

Сверточная нейросеть – это вид нейронных сетей, с помощью которых ведется работа с 1) изображениями: классификация, детектирование, семантическая сегментация и 2) звуком: распознавание речи, аудиосигналов.

Рекуррентные сети – это вид нейронных сетей, с помощью которых решаются задачи:

- 1) обработка текста: анализ текста, автоматический перевод и прочее;
- 2) обработка аудио: автоматическое распознавание речи;
- 3) обработка видео: прогнозирование содержимого кадра на основе предыдущих, распознавание эмоций, жестов;
- 4) обработка изображений: прогнозирование описания и генерация изображений.

Сферы применения искусственного интеллекта.

По данным аналитиков, суммарный объем рынка технологий ИИ к 2022 году увеличится до \$52,5 млрд. Ежегодный темп роста в прогнозируемый период будет сохраняться на уровне 31%.

В рамках разработки дорожной карты развития Сквозных Цифровых Технологий РФ (СЦТ) «Искусственный интеллект и нейротехнологии» были выделены семь субтехнологий: компьютерное зрение; обработка естественного языка; распознавание и синтез речи; рекомендательные системы и интеллектуальные системы поддержки принятия решений; перспективные методы и технологии в ИИ; нейропротезирование; нейроинтерфейсы, нейростимуляция и нейросенсинг [39].

План дорожной карты предусматривает то, что развитие СЦТ окажет высокий уровень влияния на технологическое лидерство, экономическое развитие и социальный прогресс (по различным прогнозам, доля ИИ в мировом ВВП будет составлять 2,6% в 2030 году. При существенном стимулировании развития ИИ в России, будут достигнуты даже большие результаты. А именно: доля ИИ в ВВП России будет составлять 0,8% в 2024 году и 3,6% в 2030 году. Развитие ИИ существенно улучшит ситуацию со здравоохранением в стране. Повысится качество медицинских услуг и точность диагностирования. Все это увеличит ожидаемую продолжительность здоровой жизни россиян. Развитие ИИ также улучшит ситуацию с образованием в РФ: каждый ученик сможет получать задание в соответствии с его способностями, а учителям и преподавателям не придется тратить время на выполнение однообразных операций) [32].

Исследованиями в различных технологических областях ИИ занимаются такие компании, как IBM, Google, CloudMinds, Affectiva.

Нейронные сети лежат в основе услуг многих компаний: Facebook использует нейронные сети для алгоритмов автоматического проставления тегов, Google – для поиска среди фотографий пользователя, Amazon – для

генерации рекомендаций товаров, а Instagram – для поисковой инфраструктуры.

Один из самых масштабных проектов – государственная система видеонаблюдения в Китае, в рамках которого создается национальная база данных на основе системы распознавания лиц. В рамках данного проекта в стране создается сеть камер видеонаблюдения, которую сами китайские власти называют крупнейшей в мире. Данная сеть насчитывает порядка 176 миллионов уже установленных камер и 450 миллионов камер, которые планировалось установить к 2020 году. С помощью данной технологии китайское правительство сможет собирать гигантский объем информации о своих гражданах.

Проекты в области распознавания речи также шагнули далеко вперед. На рынке появились различные голосовые помощники, позволяющие быстро узнать необходимую информацию, будь то прогноз погоды, уровень пробок в городе или биржевые котировки. Но на этом их возможности не ограничиваются, ведь они могут быть интегрированы в различные более сложные системы, будь то умный дом, музыкальный плеер или покупки в интернет-магазинах. Их разработкой занимаются крупные цифровые компании: Яндекс предлагает голосового помощника Алису, Apple – Siri, а Google – Google Assistant.

В 2017 году компании Mail.Ru Group, Insilico, а также МФТИ сообщили об использовании нейронной сети для создания новых лекарственных препаратов. Предполагается, что эта технология поможет искать препараты в самых разных областях – от онкологии до сердечно-сосудистых заболеваний.

Ещё одним примером проекта по созданию интеллектуальных систем является разработка российского разработчика Cognitive Technologies. Данный разработчик интеллектуальных систем применяет нейронные сети для распознавания транспортных средств, пешеходов, дорожных знаков, светофоров и других объектов, попадающих в кадр для дальнейшего обучения нейросети беспилотного автомобиля.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого также имеет большой опыт в области реализации проектов в сфере работы с ИИ. Результаты проекта предназначены для использования автопроизводителями, занимающимися разработкой беспилотных автомобилей, разработчиков систем поведения беспилотного транспортного средства различных категорий под действием управляющих сигналов ИИ, для применения в военных разработках. Беспилотный (автономный) транспорт – ключевой тренд современного автомобилестроения и область основной конкуренции в автопромышленной отрасли.

Искусственный интеллект уже оказал огромное влияние на развитие нашего мира, что было невозможно предсказать еще столетие назад.

Несмотря на то, что механизмы ИИ до конца не изучены, эксперты прогнозируют, что развитие ИИ еще более приблизится к развитию человеческого мозга уже в ближайшие годы [51]. Однако, несмотря на такую фееричную перспективу «очеловечивания машин», хочется привести слова профессора СПбГУ Татьяны Черниговской: «Программы ИИ уже проводят сложные вычислительные операции намного быстрее людей. Это машины, которые ничего не забывают, не устают, не влюбляются. Мы проигрываем им во всем, что связано со счетом. Но мозг – это не просто вычислительная машина больших мощностей, и наша цивилизация создана не только благодаря способности считать».

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ ПО РАЗДЕЛУ 2

- 1) Какие мировые тренды в области развития промышленности вы можете выделить?
- 2) Какие задачи решают суперкомпьютеры?
- 3) Что такое «цифровой двойник» и где его используют?
- 4) Что показывают удельная прочность и удельный модуль?
- 5) Для чего идеально подходят мета-материалы?
- 6) Для чего служит технология «Синий зуб»?
- 7) Назовите ключевые особенности технологии 5G, и чем они отличаются от своих предшественников?
- 8) С помощью каких неуниверсальных квантовых вычислителей можно решать оптимизационные задачи?
- 9) С чем ученые связывают успех квантовой криптографии и чем он ограничен?
- 10) В чем принципиальное отличие одноранговых систем от клиент-серверных?
- 11) Почему многие считают такие технологии, как децентрализованные системы, революционными?
- 12) Какие данные не считаются Большими данными?
- 13) Назовите ключевую сложность работы с Большими данными, и как она решается?
- 14) Как отличить VR от AR?
- 15) Возможно ли с помощью VR/AR технологий почувствовать запах или ощутить предмет на вкус?
- 16) На каких «трех китах» строится машинное обучение?
- 17) Как Вы думаете, сможет ли ИИ заменить человека? Объясните, почему?

РАЗДЕЛ 3. ИНФРАСТРУКТУРА И РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОЗДАНИЯ ФАБРИК БУДУЩЕГО

3.1 Цифровое проектирование и моделирование

Цифровое проектирование и моделирование – одна из технологий четвертой промышленной революции и основа современной глобально конкурентноспособной промышленности. В настоящее время цифровое проектирование и моделирование как одно из основных направлений передовых производственных технологий активно обсуждается и рассматривается на уровне федеральных органов власти и входит в ключевые программы развития государства.

Цифровое проектирование и моделирование включает в себя следующие технологии:

- Математическое моделирование.
- Компьютерное проектирование (CAD).
- Компьютерный и суперкомпьютерный инжиниринг (CAE, HPC).
- Топологическая оптимизация (CAO).
- Технологическая подготовка производства (CAM).
- Цифровые двойники (digital twin).
- Управление данными о продукте (PDM).
- Управление жизненным циклом изделий (PLM).

Основным инструментом цифрового проектирования и моделирования является специальное программное обеспечение, называемое САПР (системы автоматизированного проектирования). САПР представляет собой программный пакет для создания конструкторской и технологической документации, 3D-моделей и чертежей. САПР – одни из самых сложных программных систем, разрабатываемые для операционных систем, как Windows, Unix, использующие языки программирования C, C++, Java, а также современные CASE-технологии. Существуют и мобильные платформы IOS Apple и Android Google, а также САПР-приложения для них. Таким образом, в настоящее время на рынке существует огромный выбор ПО, отличающийся по своему функционалу.

Схожим с САПР английским термином будет CAD-systems (Computer Aided Design), то есть программное обеспечение, предназначенное для цифрового автоматизированного проектирования и моделирования. Однако компьютерное проектирование (CAD) является лишь одной из технологий и более узким понятием, чем САПР. Также следует пояснить, что, например, САМ-системы и САЕ-системы могут быть как самостоятельными программами, так и одним из модулей САПР.

САПР можно разделить на несколько категорий. Первая категория – это системы, применяемые в области машиностроения.

Системы автоматизированного проектирования, используемые в машиностроении, можно разделить на 3 уровня:

1. **САПР нижнего уровня.** Эти системы предназначены для 2 D-проектирования и черчения. В таких САПР, как правило, есть возможность создавать отдельные 3D-модели, и нет инструментов для работы со сборочными единицами. К программным средствам данной группы относятся AutoCAD, VersaCAD, BrisCAD.

2. **САПР среднего уровня.** Эти системы позволяют создавать 3 D-модели, сборочные единицы, чертежи, документооборот и проводить инженерные расчеты (прочностные, температурные и др.) Системы среднего уровня также имеют модули для автоматизации проектирования электрических, гидравлических и других вспомогательных систем, автоматизации работы с листовыми материалами и проч. Также зачастую в такие САПР интегрируются CAM – системы, модули подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ. Эти системы в настоящее время наиболее востребованы на рынке, так как решают многие задачи, примерами являются Inventor, T-Flex, Компас 3D.

3. **САПР верхнего уровня.** Такие системы охватывают самый широкий спектр задач, в том числе осуществляют инженерный анализ (CAE), подготовку управляющих программ для станков с ЧПУ и промышленных манипуляторов (CAM), включают подсистемы обратного инжиниринга, аддитивного производства и другие средства разработки [52]. С помощью САПР верхнего уровня создаются ресурсоемкие сборки, состоящие из десятков тысяч деталей, например, используются в авиастроении, кораблестроении. Эти системы также могут быть интегрированы с подсистемой управления данными о продукте (PDM). Одной из целей PDM является возможность групповой работы над проектом, когда команда совместно трудится над заданием и использует данные. Такие САПР наиболее громоздки, сложны и дороги, они подходят для крупных компаний. Примерами являются Siemens NX, PTC Creo.

Наибольший интерес представляют САПР среднего и верхнего уровня, так как им присуща высокая степень параметризации. В таких системах предполагается создание эскизов в строго определенных плоскостях, при этом их элементы имеют различные ограничения и взаимосвязи, размеры определяют конечный вид эскиза, изменение размеров ведет к автоматическому перестроению. Эскизы служат основой для построения трехмерных элементов, история построений сохраняется в навигаторе операций, что позволяет быстро вносить изменения на любом этапе и перестраивать всю модель автоматически [52]. Основные способы моделирования для этой категории систем, используемых в основном в машиностроении, - твердотельный и поверхностный, инструменты для полигональных моделей ограничены.

Существует еще одна категория САПР, вторая категория, используемая для промышленного дизайна, преимущественным способом работы в которых является поверхностное моделирование. Эти системы не имеют высокой степени параметризации, как описанные ранее, они менее громоздки и более удобны для задач промышленного дизайна: моделирования и проектирования бытовых приборов, элементов транспорта, мебели, посуды и т.д.).

Третья категория САПР – программное обеспечение, направленное на решение узкоспециализированных задач, например, проектирования обуви, стоматологии, ювелирного дела.

Четвертая категория – это САПР для художественного моделирования, анимации, визуализации.

Для обеспечения высокой точности цифрового проектирования и моделирования необходимо учитывать:

- материалы;
- технологии изготовления;
- соединения;
- механизмы;
- виртуальный испытательный полигон;
- теории (вычислительная механика, математическая физика, акустика, теория колебаний и др.);
- целевые показатели;
- «умные» большие данные.

Основным направлением развития всех категорий САПР является использование облачных технологий, которые позволяют перенести всю инфраструктуру инженерных служб в облако. С помощью данной технологии конструкторы получают доступ к различным облачным сервисам и могут решать задачи, требующие значительных ресурсов. При этом сервер может быть открыт через интернет или находиться в локальной сети компании, но второе распространено чаще, так как в сложных проектах зачастую соблюдается секретность. Преимущество облачных САПР в том, что их можно использовать даже на слабых компьютерах, так как вычислительная нагрузка ложится на сервер, при этом доступ к данным можно иметь с любого устройства, даже с телефона. В качестве примера можно привести Autodesk Fusion 360, бесплатную для студентов.

Математическое моделирование – это процесс создания модели и оперирование ею с целью получения сведений о реальном объекте. Математическая модель в общем смысле – это описание системы с использованием математических понятий и языка.

В случае рассмотрения САПР математическая модель – это система математических объектов (чисел, матриц, и т.д.) и отношений между ними, адекватно отражающих свойства технического объекта, существенные для

инженерного проектирования. Математическое обеспечение САПР основано на вычислительной математике, теории вероятности, математическом программировании, статистике, дискретной математике, искусственном интеллекте.

Наряду с геометрическим моделированием в САД системах, важным этапом при автоматизированном проектировании является этап функционального проектирования объекта, на котором строится математическое описание его функционирования. В САПР анализ выполняется математическим моделированием. Таким образом, математические модели можно разделить на 2 группы: структурные и функциональные. Структурные математические модели передают только структурные свойства объекта, например, его геометрическую форму, размеры, взаимное расположение элементов в пространстве [4]. Функциональные математические модели отражают закономерности процессов функционирования.

К математическим моделям, используемым в САПР, предъявляют следующие требования: универсальность (возможность применения модели на более широкий класс объектов); точность или адекватность результатов; экономичность и надежность моделей.

В системах автоматизированного проектирования для каждого иерархического уровня используется соответствующий математический аппарат. На микроуровне применяют аппарат уравнений математической физики, используются математические модели, описывающие физическое состояние и процессы в сплошных средах [4]. Такие модели основаны на дифференциальных уравнениях в частных производных, они описывают поля электрического потенциала, напряженно-деформированное состояние деталей механических конструкций и т.п.

На макроуровне функциональные модели представляют собой системы алгебраических или обыкновенных дифференциальных уравнений, используются численные методы.

На метауровне для моделирования применяют аппарат анализа систем автоматического управления, математическую логику, теорию конечных автоматов, теорию массового обслуживания и др. Математические модели на этом уровне имеют вид систем обыкновенных дифференциальных уравнений, систем логических уравнений, имитационных модели систем массового обслуживания [4].

Основными требованиями, предъявляемыми к математическим моделям, являются требования адекватности, универсальности и экономичности.

Преимущества математического моделирования перед созданием реальных физических макетов очень существенны, к ним можно отнести снижение временных сроков на подготовку анализа, снижение

материалоемкости, возможность выполнения экспериментов, которые привели бы к разрушению физического макета и др.

Развитие технологий математического моделирования в рамках САПР позволяет решать задачи в таких областях, как моделирование, проектирование, инженерный анализ и конструкторско-технологическая разработка, создание опытных образцов, проведение испытаний и проч.

Компьютерное проектирование (CAD) – это программный пакет, предназначенный для создания 3D-моделей, используется для повышения производительности проектировщика, повышения качества проектирования, улучшения коммуникаций с помощью документации и создания базы данных для производства. Конструкции, выполненные с помощью программного обеспечения CAD, легче защитить в патентных заявках. Выходные данные компьютерного проектирования могут быть представлены в виде электронных файлов для печати, обработки или других производственных операций. Компьютерное проектирование является первой и основной технологией в цифровом проектировании и моделировании.

Компьютерное проектирование (CAD) включает в себя 3 вида моделирования: твердотельное, поверхностное, полигональное. Каждый из этих способов имеет свои преимущества и недостатки и подходит для решения определенных задач.

Твердотельное моделирование – инструмент для создания параметрических моделей, где необходимо контролировать размеры всех элементов, редактировать их, определять между ними зависимости. Инструментарий сводится к вытягиванию трехмерных элементов, булевым операциям, построению скруглений и т.д. С помощью твердотельного моделирования создаются модели деталей в области машиностроения.

Поверхностное моделирование применяется для описания сложных криволинейных форм, например, для создания моделей бытовых приборов, изогнутых корпусов, элементов зданий, кузовов и др. Такие сложные формы невозможно описать одной поверхностью, поэтому итоговые модели состоят из множества поверхностей, важной особенностью является создание гладких поверхностей и сопряжения между ними. Этот тип моделирования чаще применяется в промышленном дизайне.

Полигональное моделирование применяется для моделей с высокой степенью детализации, например, в ювелирном деле, игровой индустрии, киноиндустрии, мебельном производстве. Средствами твердотельного и поверхностного моделирования очень сложно построить 3D-модель человека, детализация морщин и пор на коже может быть достигнута лишь с помощью полигонального моделирования.

Указанные выше три способа моделирования могут комбинироваться и дополнять друг друга, современные САПР позволяют это делать. Однако для использования преимуществ каждого способа специалисты используют

в настоящее время несколько программных пакетов. При этом любая твердотельная модель может быть конвертирована в поверхностную или полигональную. Поверхностная модель может быть преобразована в твердотельную или полигональную. А полигональная модель не может быть конвертирована в другие виды, несмотря на то что это очень востребовано в обратном инжиниринге. Для решения такой задачи используется другое программное обеспечение, например, 3D-сканирование, позволяющее воссоздать твердотельную или поверхностную модель из полигональной.

Компьютерный и суперкомпьютерный инжиниринг (CAE, HPC). Современные системы инженерного анализа CAE (Computer-Aided Engineering) предназначены для решения различных инженерных задач: расчётов, анализа и симуляции физических процессов, анализа прочности, динамического моделирования, проверки и оптимизации изделия, они основаны на численных методах решения дифференциальных уравнений. В отличие от CAD, который позволяет нарисовать геометрию изделий и подготовить документацию, компьютерный инжиниринг (CAE) проводит моделирование функций, поведения машин, физико-механических свойств и технологических процессов. Развитие технологий CAE-систем неразрывно связано с CAD и CAM системами. Полнофункциональные CAE-системы могут иметь собственные средства моделирования и быть лишены ассоциативной связи с CAD, или же являться встроенными в САПР верхнего уровня (тяжелые САПР). Например, чтобы получить 3D-модель капота автомобиля, надо использовать CAD – систему, а чтобы рассчитать нагрузку на капот, деформации, уровень вибраций необходима CAE-система.

CAE-системы используются в следующих отраслях производства: машиностроение, строительство, различные виды промышленности, телекоммуникации и др. С помощью таких систем проводится прочностной, гидродинамический, термический анализ, моделирование физических процессов, например, литье под давлением. Наиболее ярким примером использования таких систем служит компьютерное тестирование разрабатываемых моделей автомобилей с помощью специального ПО, такого как RADIOSS, PAM-CRASH, где проводится оценка безопасности пассажиров при столкновениях.

Под *суперкомпьютерным инжинирингом* (HPC) понимаются технологии применения суперкомпьютеров, с помощью которых создаются конкурентоспособные технические объекты. Переход от компьютерного инжиниринга к суперкомпьютерному связан с использованием параллельных вычислительных технологий, позволяет ставить и решать междисциплинарные задачи, связывающие инженерные и естественные науки¹².

¹² High Performance Computing in Science and Engineering '11. Transactions of the High Performance Computing Center (Editors Wolfgang E. Nagel, Michael M. Resch, Dietmar B. Kröner). Stuttgart (HLRS), 2011. P. 649.

Таким образом, происходит переход к совершенно другому классу вычислительных задач. Суперкомпьютер – это компьютер со значительно более высоким уровнем производительности по сравнению с компьютером общего назначения, они представляют собой передовые системы НРС (High Performance Computing). Компьютер, который можно отнести к категории суперкомпьютера, зависит от стандартов, которые меняются со временем по мере развития возможностей. Один суперкомпьютерный кластер может включать десятки тысяч процессоров, причем самые дорогие и мощные системы в мире стоят более 100 миллионов долларов США. Операционная система Linux с 2017 года стала использоваться на всех суперкомпьютерах. Развитие технологий по созданию суперкомпьютеров происходило одновременно с совершенствованием методов численного моделирования. Чем более сложные задачи необходимо было решить в рамках моделирования, тем более сложные компьютеры разрабатывались. По состоянию на июнь 2020 года в Китае было 229 суперкомпьютеров, в США 114, в Японии 29, в России 2. В Японии находится самый мощный суперкомпьютер в мире.

Двумя основными методами обработки информации в НРС являются:

1. Последовательная обработка, которая осуществляется центральными процессорами (ЦП). Каждое ядро процессора обычно обрабатывает только одну задачу за раз. Процессоры необходимы для выполнения таких функций, как операционные системы и базовые приложения (например, обработка текстов, офисная производительность).

2. Параллельная обработка может выполняться с использованием нескольких процессоров или графических процессоров (GPU). Первоначально разработанные для выделенной графики, графические процессоры могут выполнять несколько арифметических операций над матрицей данных (например, пикселями экрана) одновременно. Возможность одновременной работы с многочисленными плоскостями данных делает графические процессоры подходящими для параллельной обработки прикладных задач машинного обучения (ML), таких как распознавание объектов в видео.

Для расширения возможностей суперкомпьютеров требуются различные архитектуры систем. Большинство систем НРС объединяют несколько процессоров и модулей памяти через сверхвысокочастотные соединения для обеспечения параллельной обработки. Некоторые НРС-системы объединяют процессоры и графические процессоры, что называется гетерогенными вычислениями.

Топологическая оптимизация (CAO - Computer-Aided Optimization) – это программное обеспечение, предназначенное для автоматизации труда инженеров по разработке оптимальных конструкций. Задачи оптимизации могут быть сформулированы на математическом аппарате, например, задачи оптимизации жесткости, прочности, а также задачи разработки

микроструктур метаматериалов. Оптимальная структура может быть очень сложной и не позволять сделать станок с ЧПУ, такие смоделированные структуры в настоящее время могут быть изготовлены с помощью 3D печати.

Программное обеспечение для CAO не строит модель объекта полностью с нуля. Ранее изготовленная геометрическая модель изделия загружается в программу, на ней отмечаются места, которые не подлежат изменению (крепления), остальные зоны, называемые «design space», где программа может менять геометрию, подлежат оптимизации. Процесс построения новой модели в системе CAO в настоящее время все еще требует значительных затрат времени и вычислительных мощностей.

Метод математического моделирования, используемый в данной технологии, называется методом конечных элементов, где для каждой точки моделируемого объекта программа составляет и решает интегральные уравнения, учитывая при этом взаимосвязи между всеми точками. После окончания вычислений конструктор получает оптимальную 3D-модель проектируемого изделия, которая обладает новой геометрией. Далее полученная модель проходит проверку на напряжения, деформации и т.д. и может быть передана на производство. CAO – системы способны оптимизировать геометрию изделий для разных видов дальнейшего производства: ковку, штамповку, литье или для 3D-печати. Зачастую полученные формы изделий имеют аморфные формы, гладкие, похожие на естественные природные, где отсутствуют прямые линии. Такие технологии позволяют снижать массу изделий при сохранении той же прочности и жесткости, что критически важно, например, в авиакосмической области.

Эта технология существует почти так же долго, как CAD, однако в основном используется только в крупных промышленных компаниях или академическими исследователями. И те, и другие исторически разрабатывали собственное уникальное программное обеспечение, которое имело ограниченную массовую доступность. Такое программное обеспечение достаточно дорого и требует больших вычислительных мощностей, однако экспоненциальный рост технологических достижений постепенно делает мощные процессоры доступными для всех. Аналогичная тенденция наблюдалась ранее и в отношении CAD- и CAE- систем. В прошлом эти платформы были предназначены только для специалистов, но теперь практически нет компаний, работающих с дизайном, которые не используют САПР. Вместе с тем существует ряд причин, по которым по-прежнему сдерживается распространение CAO-систем в настоящее время: отсутствие бесплатной поддержки, сложность, высокая цена программного обеспечения.

Технологическая подготовка производства (CAM). Системы автоматизации технологической подготовки производства (CAM – Computer Aided Manufacturing) – программное обеспечение,

осуществляющее подготовку информации для станков с ЧПУ (числовым программным управлением, англ. термин - CNC), исходными данными для которых служат геометрические модели изделий, получаемые в CAD-системах.

Начало любого инженерного процесса начинается в САПР. Инженеры делают 2D или 3D чертеж, будь то коленчатый вал для автомобиля, внутренний каркас кухонного крана или скрытая электроника в печатной плате. В CAD любая конструкция называется моделью и содержит набор физических свойств, которые будут использоваться системой САМ. Когда проект завершен в CAD, он может быть загружен в САМ. Традиционно это делается путем экспорта файла, а затем импорта его в программное обеспечение САМ. Если используется САПР верхнего уровня, то и CAD, и САМ существуют в одной программе, поэтому импорт/экспорт не требуется. Как только CAD-модель импортируется в САМ, программное обеспечение начинает подготовку модели к обработке на станке, то есть процессу преобразования сырья в определенную форму с помощью таких действий, как, например, резка, сверление. Технология САМ обычно преобразует модель в язык необходимого оборудования, станка используя G-код. Числовое программное управление может быть применено к обрабатывающим инструментам или, в последнее время, к 3D-принтерам.

Компьютерное программное обеспечение САМ выполняет следующие действия:

1. Проверка наличия в модели каких-либо геометрических ошибок, влияющих на производственный процесс.
2. Создание траектории движения инструмента для модели - набор координат, которым будет следовать станок в процессе обработки.
3. Установка любых необходимых параметров станка, включая скорость резания, напряжение, высоту резания/прокола и т.д.
4. Настройка вложенности, в которой САМ-система будет определять наилучшую ориентацию детали для максимизации эффективности обработки.

Основными целями САМ является: организация более быстрого производственного процесса, минимизация отходов, меньшая себестоимость, оптимальное расходование сырья, снижение энергопотребления. Примерами САМ-систем являются: SolidWorks, Autodesk ArtCAM, бесплатный пакет Fusion 360.

Цифровые двойники (digital twin). В настоящее время все более важное значение приобретает цифровое проектирование с использованием сложных мультидисциплинарных математических моделей вместо дорогостоящих натурных испытаний. Математические модели, используемые в САПР, обладают высоким уровнем адекватности реальным материалам, конструкциям, физико-механическим процессам, и их принято называть «умными моделями».

«Умные» модели включают в себе целый комплекс знаний [52]:

- фундаментальные законы и науки (математическая физика, теории колебаний, пластичности и т. д., динамика и прочность машин, вычислительная механика, гидроаэродинамика, тепломассообмен, акустика и др.);
- геометрические (CAD) и вычислительные конечно-элементные (CAE) полномасштабные модели реальных объектов и физико-механических процессов;
- полные данные о материалах, из которых изготавливается изделие;
- информацию об эксплуатационных режимах (нормальные условия эксплуатации, аварийные ситуации и т. д.);
- данные о технологиях производства и сборки как отдельных элементов, так и конструкций в целом;
- прочие параметры.

Переход к цифровому моделированию и проектированию помогает сосредоточить основную долю изменений и затрат на стадии проектирования, тем самым обеспечивает экономию сроков и стоимости, а также повышает качество проектируемых изделий, ускоряет создание нового высокотехнологичного продукта. Создается виртуальная копия физического мира, в котором фиксируются все данные о материалах, особенностях конструкции, произведенных операциях, испытаниях [52].

Наиболее ярким примером является проведение краш-тестов автомобилей с помощью «умных моделей». Благодаря системам автоматизированного проектирования (САПР) вместо изготовления чрезвычайно дорогостоящих прототипов и их натурного тестирования проводятся краш-тесты в цифровой среде. При этом количество испытаний значительно превосходит число натуральных испытаний при традиционном подходе, что позволяет достигать максимально высокого уровня безопасности проектируемого автомобиля. В результате максимальная доля затрат производителя сосредотачивается именно на этапе моделирования и проектирования.

Цифровой двойник – «умная модель», достоверно описывающая все характеристики, процессы, взаимосвязи объекта и всего производства в целом, которая непрерывно пополняется данными о его эксплуатации и отображает функциональное состояние в режиме реального времени.

Цифровой двойник создается в результате цифрового моделирования и оптимизации, содержит все данные о материалах, конструкции, испытаниях, содержит поддержку датчиков, которая имитирует объект в режиме реального времени. Цифровой двойник – это не только система автоматизированного проектирования (САПР), он также основан на больших данных, имеет поддержку датчиков Интернета вещей, что

позволяет ему давать виртуальное представление физического объекта в течение всего жизненного цикла в реальном времени.

Цифровой двойник позволяет уменьшать затраты на производство, выполняя все тесты в виртуальной среде, вовремя определять неполадки и проводить ремонт. Еще одним преимуществом является возможность прогнозирования состояния, предиктивный анализ, собирая информацию о состоянии с датчиков становится возможным прогноз поломок. Например, на самолетах устанавливаются датчики, которые передают данные на цифровые двойники. Это позволяет провести виртуальные испытания с учетом реальных нагрузок и обнаружить деформации до того, как они станут визуально заметны. Всё это дает возможность повысить эффективность используемого оборудования, также, сокращаются производственные циклы, ускоряется процесс вывода новых продуктов на рынок.

Создание цифрового двойника предполагает разработку многоуровневой матрицы целевых показателей и ресурсных ограничений (временных, финансовых, производственных и т.д.), которая приведена на рисунке 33 [52].

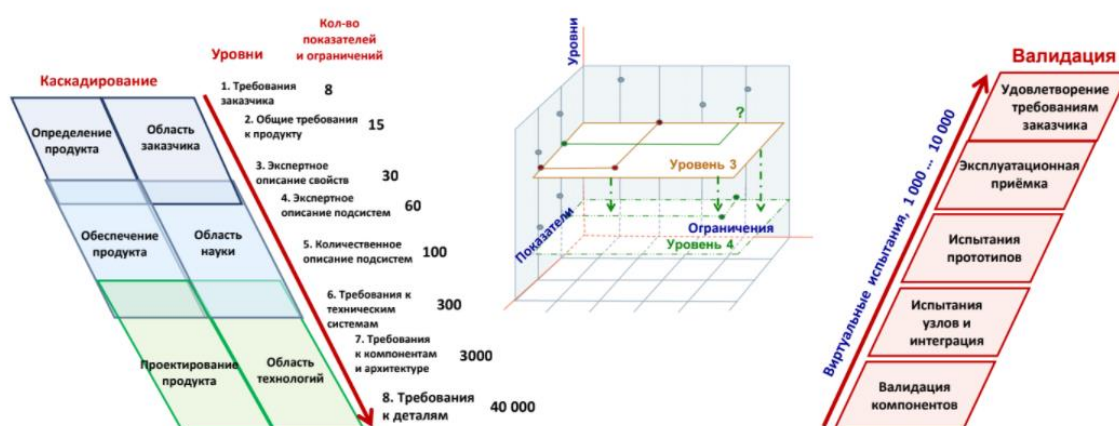


Рисунок 33 – Матрица целевых показателей и ресурсных ограничений
Источник: Инжиниринговый центр СПбПУ

Учет ограничений дает возможность формировать виртуальную копию объекта, который ведет себя так же, как и реальный объект, на всех этапах жизненного цикла, включая этап эксплуатации. Цифровой двойник собирает и повторно использует цифровую информацию, при этом не ограничиваясь сбором данных только на этапе разработки, а продолжает агрегировать данные в течение всего жизненного цикла.

В качестве примера можно привести цифровой двойник, применяемый в железнодорожном транспорте. Реальные нагрузки в случае натурных испытаний там протестировать практически невозможно, однако в этом помогает цифровой двойник, он позволяет также проводить

диагностику участков путей на железной дороге, дает рекомендации по видам ремонта и т.д. Кроме того, цифровые двойники участвуют в настоящее время в проектах по беспилотному вождению электрочек.

Управление данными о продукте (PDM - Product Data Management) – программное обеспечение, обеспечивающее управление всей информацией о сложном техническом объекте в единой центральной системе.

PDM -система включает:

- управление инженерными данными (EDM);
- управление техническими данными (TDM);
- управление технической информацией (TIM);
- управление информацией об изделии (PIM);
- управление документами;
- управление изображениями и манипулирование информацией, определяющей конкретный объект.

Такие системы позволяют следить за массивами данных и документации на всех этапах, управлять бизнес-процессами, автоматизировать отчетность, осуществлять механизм авторизации. PDM-система структурирует информацию в виде текстовых документов, 3D-моделей, данных, необходимых для станков с числовым программным управлением ЧПУ и др.

Управление жизненным циклом изделий (PLM - Product Lifecycle Management) – программное обеспечение, которое помогает предприятиям управлять жизненным циклом продукта на всех этапах. Управление жизненным циклом оборудования подразумевает целый ряд функций, направленных на улучшение работы в целом, обеспечение бесперебойного цикла производства, управление данными, оборудованием и т.д. PLM-система обеспечивает снижение издержек на всех уровнях и этапах производства. Например, автоматизация логистики, контроль износа оборудования, налаживание связи между персоналом, накопление и анализ данных, которые накапливаются при проектировании и производстве. Данная технология позволяет быстрее выводить продукцию на рынок за счет цифрового двойника цепочки создания изделия (рис. 34).

PLM-система является наиболее общей и сложной для реализации на предприятиях, так как требует унификации работ многих служб и подразделений. Кроме того, она должна быть связана с ERP-системой компании.

Цель цифрового проектирования и моделирования, а также всех перечисленных технологий состоит в том, чтобы создавать протестированные в цифровой среде физические модели и обеспечивать максимальную вероятность успеха проекта. Возможности этих технологий охватывают самые разные отрасли, где используются различные материалы.

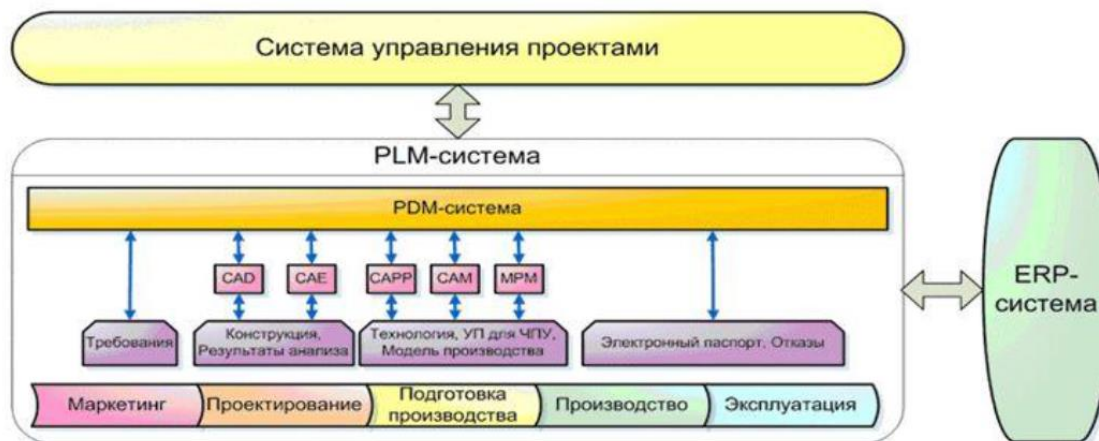


Рисунок 34 – Связь систем цифрового проектирования и моделирования

Существует несколько способов изготовления объектов из 3D-моделей: это могут быть лазерные резак для вырезания тонких материалов, маршрутизаторы с ЧПУ, работающие на основе буквенно-цифровых G-кодов, однако в настоящее время все большее распространение приобретают аддитивные технологии или 3D-печать.

3.2 Аддитивные технологии

Аддитивные технологии, 3D-печать, аддитивное производство, технологии послойного синтеза – данные понятия являются синонимами и представляют собой процесс объединения материала, с целью создания объекта из данных 3D-модели, как правило слой за слоем. Аддитивное производство включает в себя проектирование, 3D-печать, постобработку (например, шлифовка, фрезерование). Применяются аддитивные технологии для создания макетов и прототипов, вспомогательных приспособлений для производства, а также и для серийных изделий.

При этом быстрое прототипирование уже не является синонимом вышеуказанных терминов, так как 3D-печать применяется и для серийного производства. Ранее же аддитивные технологии применялись только для изготовления визуальных макетов и прототипов.

К аддитивным технологиям относятся: экструзионная печать (FDM), резка и склеивание листов (LOM), прямая наплавка металла (DMD), стереолитография (SLA), фотополимеризация с применением сопел (PolyJet), применение клея для связывания порошкового материала (Binder Jetting), лазерное спекание (SLS), лазерное плавление (SLM, EBM, DMLS, DMLM)¹³. Рассмотрим некоторые из них.

Технология FDM – создание трехмерных моделей методом послойного наплавления. Материалом печати являются различные

¹³ https://3dtoday.ru/wiki/FDM_print

термопластики (композиты, полиамиды, поликарбонаты и др.), поставляемые в виде катушек с нитями. Изделие получается методом экструзии (выдавливанием) расплавленного пластика с формированием последовательных слоев. В экструдер поступает нить, материал нагревается и подается на строящуюся модель, модель строится слой за слоем, сверху вниз. Сопло с термопластиком перемещается по траектории, заданной системой автоматизированного проектирования (САПР). Эта технология является очень популярной, может применяться в быту. Популярность связана с тем, что истекает срок действия оригинального патента и создаются 3D-принтеры с открытым кодом.

Изготовление объектов с помощью технологии ламинирования LOM представляет собой склеивание листов (бумаги, фольги пластика) и формирование контура всех слоев лазером. Толщина слоя при печати зависит от листа расходного материала, себестоимость его невысока, размеры изделий могут быть крупными. После печати изготовленные модели подлежат механической обработке, бумажные модели по своим свойствам близки к древесине, и их можно обрабатывать деревообрабатывающими станками.

Стереолитография (SLA) – технология 3D-печати изделий из жидких фотополимерных смол, отверждение которых происходит с помощью облучения лазером, что позволяет вычерчивать контуры заданной модели слоями. Модель затвердевает в тех точках, где с ней соприкасался ультрафиолетовый луч лазера или иного подобного источника энергии. Преимуществом данной технологии является высокая точность, толщина наносимых слоев в несколько раз тоньше волоса. Однако из-за высокой стоимости исходного материала – фотополимерной смолы стоимость изготавливаемых изделий оказывается существенной.

Прямое лазерное спекание металлов (DMLS) также использует трехмерные модели чертежей для построения физических моделей. Для спекания металлического порошка при 3D-печати по этой технологии используются оптоволоконные лазеры достаточно высокой мощности, или несколько лазеров одновременно. Металлический порошок подается в камеру, разравнивается валиком, лазерная головка спекает его частицы по контуру, обозначенному в цифровой модели, затем процесс повторяется от слоя к слою. Эта технология, в отличие от традиционных субтрактивных способов (например, сверления), не имеет отходов, изготовление модели происходит намного быстрее, чем, например, литье. Однако такие изделия менее прочны, чем отлитые, так как получены путем спекания и не монолитны.

Развитие аддитивного производства тесно связано с развитием цифрового моделирования и проектирования. Программное обеспечение систем автоматизированного проектирования происходило в следующем порядке: CAD, CAE, HPC, CAO. После того как с помощью систем

компьютерной оптимизации (CAO) получают новые оптимальные модели их необходимо изготавливать с помощью оборудования, машин. Сначала для изготовления таких моделей применялись только станки с числовым программным управлением (ЧПУ). Однако часто оптимизированные модели имеют сложные формы, которые стали изготавливаться с помощью аддитивных технологий, а также появились установки, объединяющие 3D-печать и механообработку. Таким образом, благодаря моделированию и оптимизации 3D-печать позволяет создавать сверхсложные лучшие в своем классе изделия (рис. 35).

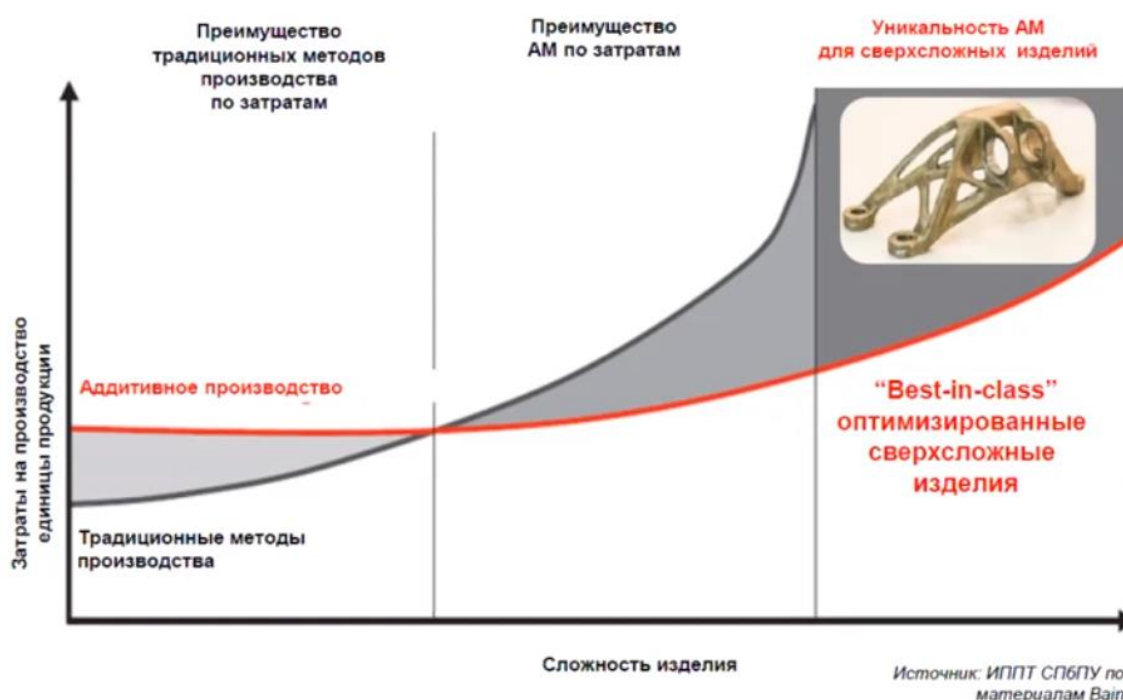


Рисунок 35 – Зависимость сложности и стоимости изделия

Источник: ИППТ СПбПУ по материалам Bain

Следовательно, при объединении технологий программных систем и оборудования можно получить тот результат, который является лучшим применением для аддитивных технологий, это производство сложных изделий, со сложной геометрической формой.

Технологии аддитивного производства имеют следующие преимущества:

- быстрое изготовление и низкая стоимость первого образца изделия;
- возможность изготовления изделий любых сложных форм, полученных, в том числе, после применения технологии топологической оптимизация (CAO), и возможность изготовления деталей с внутренними каналами (например, для проведения внутри них трубок);
- низкий расход материала.

Важная особенность 3D-печати заключается в том, что она позволяет снизить стоимость изготовления только малых партий изделий, поскольку стоимость единицы в партии практически не зависит от объема партии. Считается, что целесообразно применять аддитивные технологии, если размер партии составляет до 50 изделий (рис. 36).

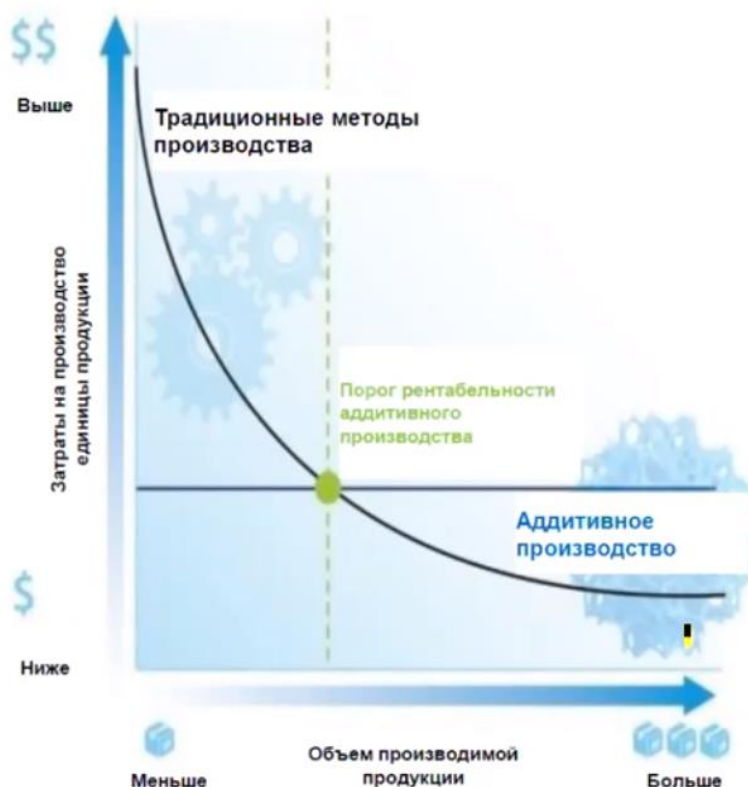


Рисунок 36 – Зависимость стоимости от объема производства

Источник: ИПИТ СПбПУ

Вместе с тем существует и некоторая переоценка возможностей 3D-печати на данный момент, так как технология не заменяет традиционные, а лишь дополняет их. Однако аддитивные технологии развиваются и начинают работать с новыми материалами, включая, например, жаропрочные сплавы из титана и алюминия. В области 3D-печати появилось оборудование, включающее 3D-принтер, обрабатывающий центр для удаления лишнего материала, а также автономные самопередвигающиеся модули камеры печати. В результате процесс 3D-печати может быть полностью автоматизирован, что позволяет говорить о возможности создавать Фабрики Будущего.

3.3 Фабрики будущего

Понятие «Фабрика Будущего» было введено в результате европейской программы ГЧП по развитию науки, промышленности, социальной сферы «Factories of the Future» в рамках Horizon 2020, оно представляет собой совокупность технологий, обеспечивающих высокую добавленную стоимость для создания высокопроизводительных экологически безопасных производственных площадок, способствующих устойчивому социальному развитию [29]. Создание фабрик будущего предполагает переход от традиционного производства к передовому.

Целями государственно-частного партнерства «Factories of the Future» являлось: внедрение передовых производственных технологий (3D-печать, новые материалы и др.); внедрение «умных» систем (роботы); планировка фабрики и обработка данных; создание мобильных фабрик, связанных друг с другом логистикой; создание рабочих мест будущего; клиентоориентированное производство.

Можно выделить 3 группы фабрик, которые различаются по масштабу применяемых технологий и охватом этапов жизненного цикла:

1. *Цифровые фабрики* (цифровое проектирование моделирование продукции и производства).

Целью цифровых фабрик является возможность увидеть продукт еще до того, как он будет произведен. Это достигается с помощью следующих технологий: цифрового моделирования и проектирования (CAD, CAE, NPS, CAO, CAM и др.), аддитивных и гибридных технологий, CNC-технологий (станки с ЧПУ), новых материалов, которые в настоящее время уже широко распространены. Основным инструментом цифровых фабрик является программное обеспечение для проведения испытаний продуктов, процессов еще до момента производства. Также важной особенностью является то, что вместо натурных проводятся виртуальные испытания, физические прототипы отсутствуют, осуществляется цифровая сертификация. Такие фабрики обеспечивают повышение качества моделирования и проектирования продуктов, производственных систем, что позволяет принимать более грамотные решения в дальнейшем на протяжении всего жизненного цикла.

В результате цифровые фабрики дают следующие эффекты: сокращение числа ошибок при проектировании, повышение качества продуктов, сокращение переделок и производственных отходов, сокращение срока вывода продуктов на рынок [29].

2. *Умные фабрики* (гибкое производство, автоматизация индустриальный интернет).

Целью умных фабрик является увеличение автоматизации, улучшение контроля и оптимизация процессов на фабрике. Инструментами выступают уже не только программное обеспечение для цифрового

моделирования и проектирования, но и лазеры, датчики, встроенные в промышленное оборудование и инфраструктуру. Производство на таких фабриках является гибким, кастомизированным, быстроперенастраиваемым. Важную роль играют промышленные роботы, используется Индустриальный Интернет, большие данные, сенсорика, MES– и ICS- системы. Умная фабрика ориентирована на этапы от планирования до серийного производства. Цена не зависит от серийности, обеспечивается с помощью логистической системы модулей, обеспечивающих реализацию процессов без участия человека.

Сокращение отхода- и энергоемкости производства, повышение продуктивности, сокращение предпусковых/предостановочных операций, повышение качества продукции, - такие эффекты предоставляют умные фабрики. Они обеспечивают гибкое производство и массовую кастомизацию.

3. *Виртуальные фабрики* (управление цепочками поставок и распределенными активами).

Они включают в себя технологии цифровой и умной фабрики, однако их возможности значительно шире. Цель построения таких фабрик – распределенное сетевое производство, управление цепочками поставок и создание добавленной стоимости через интеграцию продуктов и услуг. Они объединяют в сеть цифровые и умные фабрики как части глобальной цепочки, но продуктом виртуальной фабрики является модель территориально распределённых фабрик в единый объект со всеми логистическими, организационными и другими процессами. Средствами создания фабрик будут: программное обеспечение для полного соединения и управления распределенными активами фабрики; новые бизнес-модели и конкурентные предложения. Важную роль играют информационные системы управления предприятием, которые охватывают все внутренние процессы и сетевые взаимодействия (ERP, CRM, SCM системы).

Основными эффектами внедрения виртуальных фабрик станут повышение добавленной стоимости продуктов, увеличение занятости, прозрачность цепочек поставок, защита интеллектуальной собственности, сокращение выбросов углекислого газа по мнению европейских экспертов проекта «Factories of the Future» [29].

Последовательное развитие Фабрик Будущего представлено на рисунке 37.

Таким образом, создание Фабрик Будущего предполагает переход от традиционного производства, которому присущи низкий уровень автоматизации, постоянный контроль и ручное программирование к передовому. Передовое производство обеспечивает внедрение новых технологий и новых бизнес-моделей. Цифровое проектирование и моделирование позволяют производить сложные модели, с оптимальными характеристиками, сложными формами.

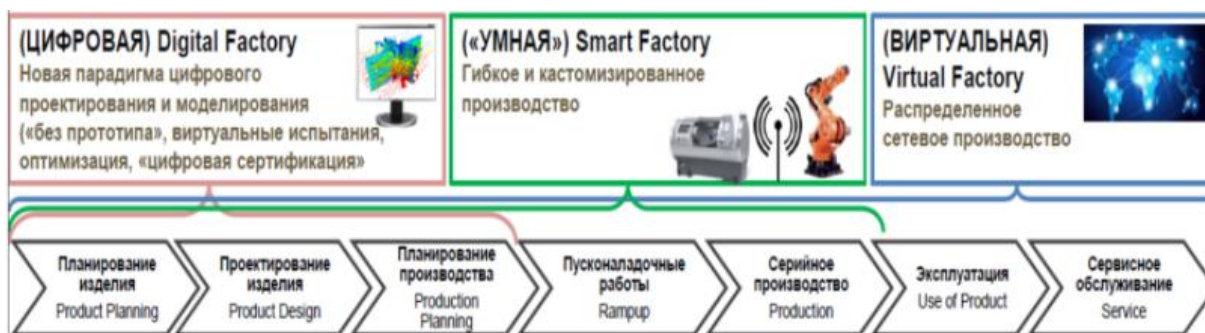


Рисунок 37 – Составные части/слои Фабрики Будущего

Аддитивные технологии и высокотехнологичная механообработка позволяют изготовить сложные модели, что раньше не представлялось возможным. Использование датчиков обеспечивает возможность контроля, исправления ошибок. Цифровизация и подключение к одной сети устройств позволяет ускорить обмен информацией, обеспечить массовую кастомизацию, делать производство гибким. Способность систем взаимодействовать, появление киберфизических системы, промышленный интернет позволяет машинам общаться и принимать самостоятельные решения для адаптации к меняющимся внешним условиям. Следовательно, Фабрики Будущего охватывают все производственные этапы, процессы, а также процессы взаимодействия с объектами из окружающей среды, поставщиками, что подразумевает мероприятия по модернизации в сфере новых материалов, энергоэффективности, логистики, новых технологий обработки, программирования, сокращения вредных выбросов и т.д.

3.4. Фабрика Будущего «Технет» НТИ

НТИ – государственная программа, запущенная в 2014 году, по обеспечению глобального технологического лидерства страны, где Технет как ее составная часть представляет собой кросс-рыночное и кросс-отраслевое направление, обеспечивающее технологическую поддержку развития рынков НТИ и высокотехнологичных отраслей промышленности за счет формирования «Фабрик Будущего» (цифровых, умных, виртуальных).

Концепция «Фабрик Будущего» реализуется в рамках дорожной карты Технет Национальной технологической инициативы (НТИ) и мегапроекта «Фабрики Будущего», одобренного 21 июня 2016 года [29]. Концепция направлена на развитие и повышение конкурентоспособности отечественной промышленности. В рамках Технет Фабрика Будущего – это система комплексных технологических решений, интегрированные технологические цепочки, которые обеспечивают проектирование и производство глобально конкурентоспособной продукции нового

поколения.

Предпосылками создания Технет НТИ явились следующие факторы:

1. Передовые производственные технологии, обеспечивающие создание Фабрик Будущего создают и связывают рынки будущего.

2. Ни одна из передовых производственных технологий по отдельности не способна предоставить долгосрочного конкурентного преимущества на рынке, поэтому их необходимо использовать целостно [36].

3. Для испытания технологий необходимо создавать испытательные полигоны (TestBed).

4. Необходимость привлечения к работе крупных промышленных компаний.

5. Необходимость ответа на экономические вызовы (исчерпание ресурсов, импортозависимость)

Создание Фабрик Будущего призвано решать в перспективе экономические проблемы государства, направлено на развитие отечественной промышленности, повышение экспортного потенциала, импортозамещения высокотехнологичной продукции на основе применения передовых производственных технологий.

3.5 Передовые производственные технологии. Сквозные цифровые технологии

Рынки НТИ во многом основываются на ряде прорывных технологий, получивших название «сквозных технологий». Сквозные технологии – ключевые научно-технические направления, которые оказывают наиболее существенное влияние на развитие рынков. Данные технологии одновременно охватывают несколько трендов или отраслей [59]. Под сквозными технологиями понимаются технологии, которые одновременно могут применяться в разных отраслях и сферах жизни общества, а их выгодами может воспользоваться не только бизнес, но и общество, и государство

В программе «Цифровая экономика Российской Федерации» от 27 июля 2017 года был приведён перечень основных сквозных цифровых технологий, которые призваны осуществить переход от традиционных отраслей к экосистеме киберфизических объектов [Цифровая экономика Российской Федерации. Программа. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р.]. Сквозные цифровые технологии и разработчики их дорожных карт приведены на рисунке 38.

Задачи разработки сквозных технологий согласно дорожным картам и выход компаний на новые рынки НТИ является амбициозной задачей политического руководства страны на период до 2035 года. «Дорожные карты» были утверждены в конце 2019 года правительственной комиссией

по цифровому развитию, операторами их разработки выступили организации – лидеры развития цифровых технологий, крупнейшие российские компании мирового уровня, университеты и госкорпорации.

Большие данные	• Национальный Центр Информатизации
Нейротехнологии и искусственный интеллект	• Сбербанк России
Системы распределенного реестра	• Новосибирский институт программных систем
Квантовые технологии	• Национальный исследовательский университет «МИСиС»
Новые производственные технологии	• Санкт-Петербургский университет Петра Великого
Промышленный интернет	• Национальный центр Информатизации
Компоненты робототехники и сенсорики	• Университет Иннополис
Технологии беспроводной связи	• Национальный Центр Информатизации
Технологии виртуальной и дополненной реальностей	• Дальневосточный федеральный университет

Рисунок 38 – Разработчики дорожных карт сквозных технологий

Разработчиком сквозной цифровой технологии «новые производственные технологии» является СПбПУ. К передовым или новым производственным технологиям ранее было принято относить, прежде всего, цифровое моделирование и проектирование, новые материалы (композитные материалы, металлы, керамика и др.), аддитивные технологии, технологии для автоматизации производственных процессов (промышленная робототехника, сенсорные системы).

Однако дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «новые производственные технологии» Наблюдательного совета АНО «Цифровая экономика», сформированная на заседании совета от 24.05.2019, включает следующий перечень субтехнологий: цифровое проектирование, математическое моделирование и управление жизненным циклом изделия или продукции (CAD, CAM, CAE и пр. системы); технологии «умного» производства (PLM, MES, ERP – системы); манипуляторы и технологии манипулирования (методы математического моделирования робототехнических систем, разработку программного обеспечения для управления роботами-манипуляторами и др.) [39].

Перечисленные технологии внедряются в следующих отраслях: автомобилестроение, авиастроение, двигателестроение, судостроение и кораблестроение, машиностроение, непрерывное/процессное производство.

С целью развития России в соответствии с мировыми технологическими трендами, повышения конкурентоспособности российской промышленности, построения Фабрик Будущего особое внимание уделяется одной из самых важных «сквозных технологий» – передовых производственных технологий (Advanced Manufacturing Technologies). Высокотехнологичный рынок TechNet сконцентрирован именно на развитии данной «сквозной технологии».

TechNet обеспечивает технологическую поддержку развития рынков НТИ и высокотехнологичных отраслей промышленности за счет развития передовых производственных технологий, включающих в себя следующие «субтехнологии»: цифровое проектирование и моделирование, новые материалы, аддитивные технологии, промышленная сенсорика, CNC-технологии и гибридные технологии, робототехнику, информационные системы управления предприятием, «умные» большие данные, промышленный Интернет Вещей и др [56].

3.6 Уровни готовности технологий и проектов

Достижение уровня готовности технологий и проектов, измеряемое уровнями TRL, MRL, CRL, должно позволить осуществить цифровую трансформацию высокотехнологичных производств, метрики измерения уровня готовности технологий приведены на рисунке 39.

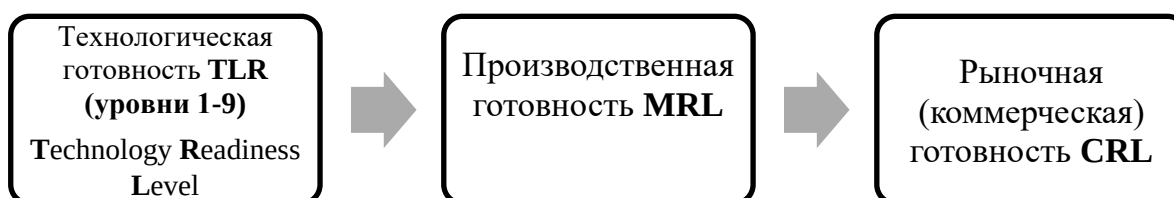


Рисунок 39 – Метрики готовности сквозных технологий с позиции экономики

В настоящее время методика TRL становится фактически глобальным стандартом оценки готовности технологии. Методика оценки принята и апробирована крупнейшими технологическими лидерами, такими как Росатом, Airbus, Boeing, Siemens. Концепция уровней готовности технологии, разработанная НАСА, описывает прогресс технологии: идея (TRL 1), научное исследование (TRL 2–3), испытания (TRL 4–7), разработка продукта и прототипа (TRL 8), зрелый продукт (TRL 9). Уровни готовности сквозных технологий TRL 1–8 подразумевают гипотетическое коммерческое предложение: технически готовое, но коммерчески непроверенное и недоказанное. Уровень TRL 9 означает тестовый

коммерческий проект, уровень стартапа, то есть проект, разработанный на первоначальной стадии, зачастую финансируемый за счет государственных финансовых средств.

MRL – это количественные показатели, используемые для оценки зрелости технологии, компонента или системы с точки зрения производства. Показатели разработаны Министерством обороны США для оценки зрелости производственной готовности, аналогичная тому, как уровни технологической готовности TRL используются для технологической готовности. Они могут быть использованы в общих отраслевых оценках или для более конкретного применения при оценке возможностей предполагаемых поставщиков. MRL оцениваются следующим образом: определение текущего уровня зрелости производства; выявление недостатков в степени зрелости и связанных с ними затрат, и рисков; обеспечение основы для созревания производства и управления рисками.

Структура уровня коммерческой готовности (CRL) оценивает различные показатели, которые влияют на коммерческую и рыночную конъюнктуру, CRL имеет шкалу от 1 до 9 для определения коммерческой готовности технологии. Например, CRL 1 – базисная гипотеза, выработано первоначальное понимание коммерческих возможностей предлагаемого продукта, знание рынка ограничено или не получено. CRL 2 – осведомленность о рынке, CRL 3 – применение технологии, CRL 4 – ценностное предложение, CRL 5 – анализ рынка, CRL 6 – оптимизация продукта/решения, CRL 7 – валидация финансовой модели, CRL 8 – введение на рынок, CRL 9 – полный запуск.

Дорожная карта «Технет» подразумевает запуск трех испытательных полигонов с целью отбора и тестирования передовых технологий с добавлением собственных ноу-хау. В рамках дорожной карты Национальной технологической инициативы создан первый в стране испытательный полигон для генерации «Фабрик Будущего» на базе Института передовых производственных технологий Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. На испытательном полигоне должна осуществляться отработка взаимодействия технологий цифрового проектирования и моделирования и других технологий.

Согласно Дорожной карте «Технет» планируется создание 40 «Фабрик будущего» уже к 2035 году.

3.7 Цифровизация производственного процесса

Цифровая промышленность – высокотехнологичная промышленность с новыми подходами к разработке продукции, где центр тяжести переносится на этап проектирования.

Цифровизация производственного процесса характеризуется следующими атрибутами:

1. Многоуровневая матрица целевых показателей и ресурсных ограничений.
2. Цифровые платформы автоматизации и системы интеллектуальных помощников для разработки цифровых двойников.
3. Виртуальные испытания – виртуальные стенды - виртуальные испытательные полигоны.

Все это обеспечивает снижение объемов натурных испытаний, уменьшение сроков и стоимости вывода на рынок новой продукции. Происходит тотальная перестройка процесса разработки, производства и послепродажного обслуживания продукции. Ключевым инструментом цифровизации производства является цифровой двойник, обеспечивающий виртуальные испытания и пополнение модели данными об объекте в режиме реального времени.

Если для традиционной высокотехнологичной промышленности характерны административно-командная система управления, низкая скорость принятия решений и отсутствие обратной связи, то Цифровая промышленность отличается. Ядром цифровой промышленности является предприятие-платформа со своей экосистемой и управление на основе данных, в том числе посредством цифровых двойников.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ ПО РАЗДЕЛУ 3

- 1) Назовите основные принципы цифрового проектирования и моделирования.
- 2) Перечислите инструменты, используемые для цифрового проектирования и моделирования
- 3) Что такое «цифровой двойник»? Какие преимущества возникают при использовании этой технологии на разных этапах жизненного цикла создания продукта?
- 4) В чем принципиальное различие между понятиями «аддитивные технологии» и «технологии 3 D-печати»?
- 5) Назовите известные вам виды 3 D-печати. Какие виды этой технологии для какого этапа жизненного цикла производства продукта наиболее пригодны?
- 6) Что такое «Фабрики Будущего»? Какие технологии лежат в основе этой концепции?
- 7) Назовите отличительные особенности «цифровой», «умной» и «виртуальной» фабрик.
- 8) Для чего создана Национальная технологическая инициатива? В чем ее отличие от зарубежных аналогов?
- 9) В чем различие между понятиями «передовые производственные технологии» и «сквозные цифровые технологии»?
- 10) Расскажите, для чего используются системы TRL, MRL и CRL?

РАЗДЕЛ 4. ВЛИЯНИЕ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ НА БИЗНЕС-МОДЕЛИ И ИНФОРМАЦИОННУЮ ИНФРАСТРУКТУРУ ПРЕДПРИЯТИЙ

4.1 Основные черты цифровой экономики

Цифровая экономика – это экономика, характерной особенностью которой является максимальное удовлетворение потребностей всех ее участников за счет использования информации, в том числе персональной. Это становится возможным благодаря развитию информационно-коммуникационных и финансовых технологий, а также доступности инфраструктуры, вместе обеспечивающих возможность полноценного взаимодействия в гибридном мире всех участников экономической деятельности: субъектов и объектов процесса создания, распределения, обмена и потребления товаров и услуг.

Новая информационная и коммуникационная инфраструктура, которая создает основу для развития электронной коммерции, а также приложения и опыт разработок электронной коммерции будут иметь более широкое влияние на бизнес, чем простое расширение каналов. Это развитие радикально изменит процессы и структуры внутри и между отраслями, а также приведет к цифровой экономике. Совершенно очевидно, что данный факт окажет серьезное влияние на фундаментальные бизнес-модели.

Цифровая экономика включает рынки, основанные на цифровых технологиях, которые облегчают и осуществляют торговлю товарами и услугами с использованием электронной торговли через Интернет. Концепция цифровой экономики или новой экономики относится к текущим преобразованиям экономической деятельности в результате использования цифровых технологий, которые обеспечивают легкий и дешевый доступ к информации, ее обработке и хранению. Новая экономика характеризуется интенсивным поглощением знаний в новые продукты и услуги, повышением важности обучения и инноваций, глобализации и устойчивого развития. Big data меняет работу рынков, облегчая реорганизацию предприятий, возникают новые возможности для создания ценностей за счет использования доступной информации [14].

Таким образом, цифровая экономика включает те компании, которые частично или полностью получают доход от деятельности, непосредственно связанной с Интернетом, или от продажи товаров и услуг, используемых в Интернет-секторе. Цифровая экономика подразумевает создание новых рынков, новых рыночных правил и новых моделей поведения производителей и потребителей, новых денег, новых распределительных сетей [14].

К основным чертам цифровой экономики можно отнести¹⁴:

– *Экономическая деятельность сосредотачивается на платформах цифровой экономики.* Облегчается взаимодействие между экономическими субъектами, снижаются издержки (прежде всего – транзакционные), предоставляется дополнительный функционал как для поставщиков, так и для потребителей, улучшается их сотрудничество, что сокращает время цикла разработки новых товаров и вывода их на рынок, способствует созданию и распространению инновационных продуктов и решений.

– *Формируются персонифицированные сервисные модели.* Таргетированный интернет-маркетинг, 3D-печать и прочие цифровые технологии позволяют персонифицировать производство и сбыт товаров и услуг, с учетом требований и нужд каждого конкретного клиента, что, в конечном итоге, способствует экономии ресурсов (за счет согласования структуры и объема спроса и предложения) и росту качества и уровня жизни населения [16].

– *Осуществляется непосредственное взаимодействие производителей и потребителей.* Создаются предпосылки для сокращения цепочек посредников между производителем и конечным потребителем, выстраивания эффективной производственной и потребительской кооперации.

– *Наблюдается распространение «экономики совместного пользования».* Всеобъемлющая цифровизация и ускорение коммуникаций создают предпосылки для размывания традиционных отношений собственности, развития юридических практик использования теоретической институциональной концепции «пучка прав собственности». Развивается феномен совместного владения товарами (особенно технически сложными и дорогостоящими, например, легковыми автомобилями), что способно радикально сократить издержки конечных потребителей

– *Возрастает роль вклада в хозяйственную деятельность ее индивидуальных участников.* Развитие малого и среднего бизнеса, как более гибкого и мобильного, играет значительную роль в бизнес-процессах; осуществляется ускоренное продвижение инновационных стартапов; расширяется сектор «экономики физических лиц» и возникает тенденция к росту «атомизации» структуры экономики [5].

Особенности цифровой экономики. Компонентами цифровой экономики являются: инфраструктура, вспомогательная инфраструктура (оборудование, телекоммуникационные сети), интернет-приложения (программное обеспечение, консультации и обучение и т.д.), экономическая деятельность, посредническая деятельность в сфере бизнеса («маркет-

¹⁴ Волкова А.А., Плотноков В.А., Рукинов М.В. Цифровая экономика: сущность явления, проблемы и риски формирования и развития // Управленческое консультирование. – №4. – 2019. – С. 38-49

мейкеры», поисковые системы и т.п.), трансфер товаров или электронная коммерция.

Цифровая экономика, возникшая в результате взаимодействия персональных компьютеров, телекоммуникаций, Интернета и электроники, характеризуется рядом особенностей, совершенно отличающихся от традиционной экономики. Их можно резюмировать следующим образом [14]:

- Цифровая экономика создает новую бизнес-модель (электронный бизнес, электронная коммерция, электронный банкинг и т.д.) через Интранет, что радикально повышает эффективность за счет снижения затрат, включая транзакционные издержки. В последнее время электронная коммерция получила широкое развитие как форма ведения бизнеса, к которой мы могли бы также добавить формирование рынков научных знаний, чему способствуют беспрецедентные темпы развития исследовательского сектора.

- Цифровая экономика носит интерактивный характер, основанный на участии, создавая более жесткую взаимосвязь между спросом и предложением на основе объема и структуры, пространства и времени. Роль потребителя более важна, поскольку он может стать важным источником инновационных идей для производителей с целью сохранения или расширения рынка, повышения комфорта или, что более важно, повышения уровня устойчивости экономического развития.

- С цифровой экономикой формы конкуренции между производителями радикально меняются из-за приоритета, который отдается потребителю в его непрерывных и быстрых изменениях с точки зрения потребностей, вкусов и требований, таким образом, что он заставляет конкурентов сотрудничать.

- Цифровая экономика подразумевает более высокое потребление концепций, высокие навыки, которые создают большую добавленную стоимость, новые рабочие места, неограниченные сегменты бизнес-возможностей и творчества за счет существования гибких и взаимосвязанных стандартов, которые облегчают необходимость интеграции и персонализации различных потребителей.

- По мере развития цифровой экономики можно также заметить сокращение потребления ресурсов, повышение инновационного и предпринимательского духа, повышение производительности труда, скорости производства и изменений экономических явлений и процессов, а также увеличение добавленной стоимости.

Влияние цифровой экономики на микро- и макроэкономическом уровне основаны на ряде общих действующих принципов развития: убежденность (осведомленность), общедоступность, полезность, наличие необходимых ресурсов и уместность.

Россия прокладывает свой путь к цифровой экономике, цифровому

обществу через национальный рынок и, что наиболее важно, через использование информационно-коммуникационных и цифровых технологий. Правительство России направляет усилия на обеспечение доступа в Интернет, на развитие инфраструктуры. В институциональной среде его роль скорее вспомогательная, то есть поддержка через государственную политику, законодательство и предоставление ресурсов. Потребительский спрос на цифровые технологии достаточно высок. Тем не менее, необходимо сформировать прочную нормативно-правовую базу для создания динамичной деловой сферы, в которой предприятия и потребители могли бы использовать цифровые технологии. С этой целью для обеспечения роста конкурентоспособности, создания инновационных решений и снижения затрат необходимы инвестиции в НИОКР, а также всесторонняя поддержка и интеграция новых технологий.

4.2 Платформа цифровой экономики

Сегодня все большее число предприятий начинают применять платформенную бизнес-модель и ее цифровые стратегии для того, чтобы оставаться конкурентоспособными. Компании создают онлайн-сети, которые облегчают цифровое взаимодействие между людьми. Существует большой разброс между функциями и типами цифровых платформ, доступных на сегодняшнем рынке, от платформ, предоставляющих услуги, до реализации продуктов, платежей и разработки программного обеспечения.

Эта новая экономика, основанная на цифровых технологиях, использующая онлайн-структуры, получила множество названий, которые часто используются как взаимозаменяемые. Её часто называют «креативной экономикой», «экономикой совместного использования», «гиг-экономикой» или «равноправной экономикой».

Платформенная экономика - сложное явление, которое значительно подрывает общую концепцию «нормальной работы». Это любая цифровая платформа, использующая Интернет для соединения рассредоточенных людей, чтобы облегчить цифровое взаимодействие между ними. В платформенной экономике существуют треугольные отношения между платформой, работником и потребителем. Задача платформы - связывать потребителей с работниками, т.е. с людьми, которые обеспечивают предложение.

Традиционные линейные бизнес-модели создают ценность за счет разработки продуктов и услуг, которые предоставляются потребителю. С другой стороны, бизнес-модели, основанные на платформенной экономике, создают ценность, объединяя пользователей (как потребителей, так и производителей) в онлайн-сеть. Платформа не владеет средствами производства, а скорее создает средства связи. Сильная сторона

платформенной экономики заключается в ее способности устранять торговые барьеры за счет расширения обмена информацией между различными игроками и распространения данных в своих интересах. Это создает более открытую экономическую систему с широким участием ее пользователей.

Таким образом, Платформа «Цифровой» экономики – это цифровая среда (программно-аппаратный комплекс) с набором функций и сервисов, обеспечивающая потребности потребителей и производителей, а также реализующая возможности прямого взаимодействия между ними [5].

4.3 Цифровая экосистема

Цифровая экосистема – это не только многосторонняя цифровая платформа, отвечающая следующим основным критериям: наличие информационно-технологической инфраструктуры, открытость для партнеров и принцип win-win, но и совокупность взаимодействующих участников прямо или косвенно участвующих в «цепочке создания ценностей», а также их клиенты.

Win-win подход (выигрыш-выигрыш) – это подход, в основу которого положена идея возможности такого взаимодействия с другой стороной (переговоров, конфликта, т.д.), при котором в результате обе стороны останутся в выигрыше. Такой подход является противоположным традиционному win-loose подходу, при котором предполагается, что в любой ситуации должен быть выигравший и проигравший.

Ключевые характеристики цифровой экосистемы¹⁵:

- наличие информационно-технологической инфраструктуры и единой информационной среды для взаимодействия участников;
- открытость и возможность подключиться новым участникам;
- алгоритмизация взаимодействия участников;
- взаимовыгодность отношений участников (принцип win-win);
- значимость количества участников деятельности (масштаб);
- снижение издержек участников экосистемы;
- действия участников цифровой экосистемы взаимовыгодны и имеют тенденцию к совместной поддержке и укреплению, что создает для них дальнейшие возможности, которые не осуществимы за пределами данной экосистемы.

Независимо от того, формируются ли она в рамках стартапа или крупного предприятия, цифровая экосистема объединяет компании из разных технологических отраслей, предлагая доступ к общему набору контента, приложений, аналитики, наборов данных и других инструментов. Данные, которые она объединяет, также являются потенциальной золотой

¹⁵ Цифровые экосистемы Москвы. Исследование. [электронный ресурс]. URL: <https://ict.moscow/projects/ecosystems/>

жилой для приложений искусственного интеллекта (ИИ) и инструментов расширенной аналитики, которые могут творить чудеса только тогда, когда они получают огромное количество высококачественных данных.

Цифровая экосистема может предоставить каждой компании инструменты и знания, необходимые для получения конкурентного преимущества, независимо от вертикали или масштаба. Однако самый большой долгосрочный потенциал цифровой экосистемы может быть не только экономическим, но социальным. Её уникальные характеристики взаимодействия могут позволить решать более серьезные проблемы и задачи, чем у любой отдельной компании. Например, цифровая экосистема может сыграть важную роль в замедлении изменения климата.

Цифровая экосистема обладает уникальными возможностями для того, чтобы способствовать расширению прав и возможностей за счет общих целей, общих знаний и других средств. Она может предложить стратегические рамки, которые объединяют передовой опыт устойчивого развития, определяет приоритетные области для действий и объединяет компании с партнерами и поставщиками технологий, которые имеют устойчивые решения и услуги для решения конкретных проблем.

Учитывая то, что в перспективе такие технологии, как Интернет вещей, машинное обучение и искусственный интеллект, будут иметь потенциал к развитию, компаниям для решения реальных бизнес-задач нужно быть готовым к изучению новых путей инноваций, не только в вопросе «цифровой трансформации», но и к тому, чтобы задействовать инновационные цифровые возможности.

4.4 Бизнес-модели цифровой экономики

Цифровые технологии все больше смещают границы между жизнью каждого человека и информационными технологиями, побуждая компании во всем мире заняться этой жизненно важной темой. Естественно, это требует системного подхода к инновациям в бизнес-модели, комплексного подхода к техническим и бизнес-аспектам. В настоящее время одной из трудностей такого подхода является отсутствие единой концепции, которая могла бы использоваться как бизнес-экспертами, так и специалистами в области технологий.

Цифровая трансформация имеет ценное значение для компаний по всему миру. Обычно это обсуждение вопросов продвинутой аналитики, социальных сетей, мобильной связи или подобных явлений. Представление каждой бизнес-модели должно отражать ключевые аспекты бизнеса компании и «бизнес-сети», в которой она работает. Данные ключевые аспекты должны дать ответ четырем основным вопросам:

- Какие ценностные предложения предлагаются?
- Кто потребители?

- Как должны работать операции?
- Почему бизнес-модель интересна с финансовой точки зрения?

Представления бизнес-модели могут быть адаптированы к специфике компании или ситуации (например, запуску или новым рыночным условиям). Описание бизнес-моделей не является ни правильным, ни неправильным, но они могут быть подходящими или несоответствующими, когда применяются для конкретной цели.

4.5 Потенциал трансформации бизнес-модели в цифровой экономике

Феномен цифровой трансформации стал очень популярным в последние годы. Цифровая трансформация или «цифровизация» - это «интеграция цифровых технологий в бизнес-процессы». Использование цифровых технологий предлагает возможности для интеграции продуктов и услуг вне функциональных, организационных и географических границ. Как следствие, эти цифровые технологии ускоряют темпы изменений и приводят к значительным преобразованиям в ряде отраслей, поскольку они обладают «силой» нарушить статус-кво и могут использоваться для стимулирования технологических изменений. Цифровые технологии произвели революцию в способах работы отраслей, представив концепцию «Индустрии 4.0» или «умной фабрики». Цифровые платформы создали новый способ работы для компаний и организаций в «бизнес-экосистеме», что привело к изменению динамики в сетях создания ценности. Цифровые технологии существенно изменили бизнес и общество, внося фундаментальные преобразования благодаря новым подходам циркулярной экономики и экономики совместного использования.

Для исследователей стратегии цифровой экономики три характеристики цифровых технологий, а именно: цифровые артефакты, цифровые платформы и цифровые инфраструктуры, создают возможности для многоуровневой модульной архитектуры и предоставляют компаниям стратегический выбор в пользу стратегии цифровых инноваций. Это коренным образом изменило характер разработки стратегии, поскольку многие оцифрованные продукты предлагают новые возможности и функции за счет интеграции цифровых компонентов в физические продукты (цифровые артефакты) и могут одновременно быть продуктом и платформой (со связанной экосистемой). В связи с этим в литературе был введен термин «платформенные фирмы» для определения тех компаний, которые полагаются на свои бизнес-модели на веб-платформе. Более того, цифровые инфраструктуры, такие как аналитика данных, облачные вычисления и трехмерная (3D) печать, предоставляют новые инструменты для быстрого масштабирования. Таким образом, цифровизация стирает границы между технологиями и управлением, предоставляя новые

инструменты и концепции цифровой среды, которые кардинально меняют то, как компании решают современные управленческие проблемы, вводят новшества, развивают отношения и ведут бизнес.

Новая цифровая среда требует от компаний использования цифровых технологий и платформ для сбора, интеграции и использования данных, адаптации к платформенной экономике и поиска возможностей роста с целью сохранения конкурентоспособности.

4.6 Модель цепочки добавления ценности в условиях цифровой трансформации

Модель цепочки добавления ценности и ее развитие – это не просто вопрос покупки и установки новых систем или программного обеспечения. Управление цепочкой добавления ценности – это комплексная работа, поэтому большая часть усилий по повышению эффективности модели добавления ценности должна включать изменения способов, которыми сотрудники и команды обмениваются информацией, рассматривают проблемы и возможности, принимают решения и выполняют действия, с которыми они согласны.

Новейшие цифровые технологии отличает то, что они могут интегрировать лучшие методы взаимодействия в процессы компании и не дать им вернуться к прежним, менее эффективным методам. Например, разработка сбалансированного плана спроса и предложения требует участия нескольких бизнес-функций. Без цифровых технологий эти бизнес-подразделения, вероятно, обращались бы в отдел планирования продаж и операций, предоставляя им информацию и доступ для решения любых конфликтов. Но новейшие цифровые платформы команды планирования продаж имеют стандартный процесс планирования, который заставляет каждую бизнес-функцию скоординированно участвовать в планировании. По мере того, как компании готовятся преобразовать свои цепочки добавления ценности с помощью цифровых технологий, им необходимо представить себе нужные бизнес- и технические возможности и спланировать развитие этих возможностей в тандеме.

Эффективная трансформация зависит от креативной, дальновидной концепции будущей цепочки добавления ценности. Это означает размышление о перспективах компании в условиях давления и тенденций, влияющих на ее конкурентную ситуацию, а также меняющихся ожиданий потребителей. В итоге видение цепочки добавления ценности должно соответствовать стратегическим целям компании. Несмотря на то, что необходимость в таком согласовании существовала всегда, новым является то, что и стратегические цели, и видение теперь должны учитывать давление и возможности, с которыми компании сталкиваются в условиях цифровой экономики. Как только компания излагает видение своей цепочки

добавления ценности, она должна сформулировать это видение с точки зрения бизнеса и технических возможностей, которые могут включать следующее:

- Лучшее принятие решений. Системы машинного обучения могут предоставить менеджерам цепочки добавления ценности рекомендации о том, как действовать в определенных ситуациях, например, при изменении планирования материалов и календарного планирования в ответ на новые заказы клиентов.

- Автоматизация. Автоматизированные операции могут упростить работу специалистов по цепочке добавления ценности и позволить им сосредоточиться на более важных задачах. Например, цифровые решения могут быть настроены для автоматической обработки информации в реальном времени.

- Непрерывное взаимодействие с клиентами. Цифровые технологии могут улучшить качество обслуживания клиентов, давая менеджерам по цепочке добавления ценности больше контроля, предоставляя клиентам беспрецедентную прозрачность (например, системы обнаружения и отслеживания, которые отправляют подробные обновления о заказах на протяжении всего времени выполнения заказа).

- Инновации. Цифровая цепочка добавления ценности может помочь компаниям укрепить бизнес-модель (например, за счет выхода на новые сегменты рынка) и более эффективно сотрудничать как с клиентами, так и с поставщиками (например, путем принятия решений на основе информации, которая автоматически извлекается из системы планирования ресурсов клиентов).

- Талант. Цепочки добавления ценности с использованием цифровых технологий предъявляют требования к талантам, которые могут сильно отличаться от требований традиционных цепочек добавления ценности. Менеджеры цепочек добавления ценности должны уметь переводить свои бизнес-потребности в соответствующие цифровые приложения.

Цели эффективности дополняют видение компании в отношении ее трансформированной цепочки добавления ценности. Для постановки целей по производительности компания должна измерить свою текущую производительность, а затем определить достижимые улучшения. Цели могут быть определены с точки зрения гибкости, обслуживания, капитала и затрат.

4.7 Канва бизнес-модели Алекса Остервальдера

Канва бизнес-модели – это шаблон стратегического управления, который помогает предприятиям описывать, разрабатывать и анализировать свои бизнес-модели. Швейцарский бизнес-теоретик и предприниматель

Алекс Остервальдер в рамках своего докторского исследования разработал канву, которая применяется в современных бизнес-моделях.

Модель представляет собой визуальную диаграмму с различными элементами, которые описывают ценностное предложение организации, ее инфраструктуру, рынок и финансы. Цель модели - помочь компаниям согласовать свою деятельность посредством иллюстрации возможных компромиссов (рис. 40)

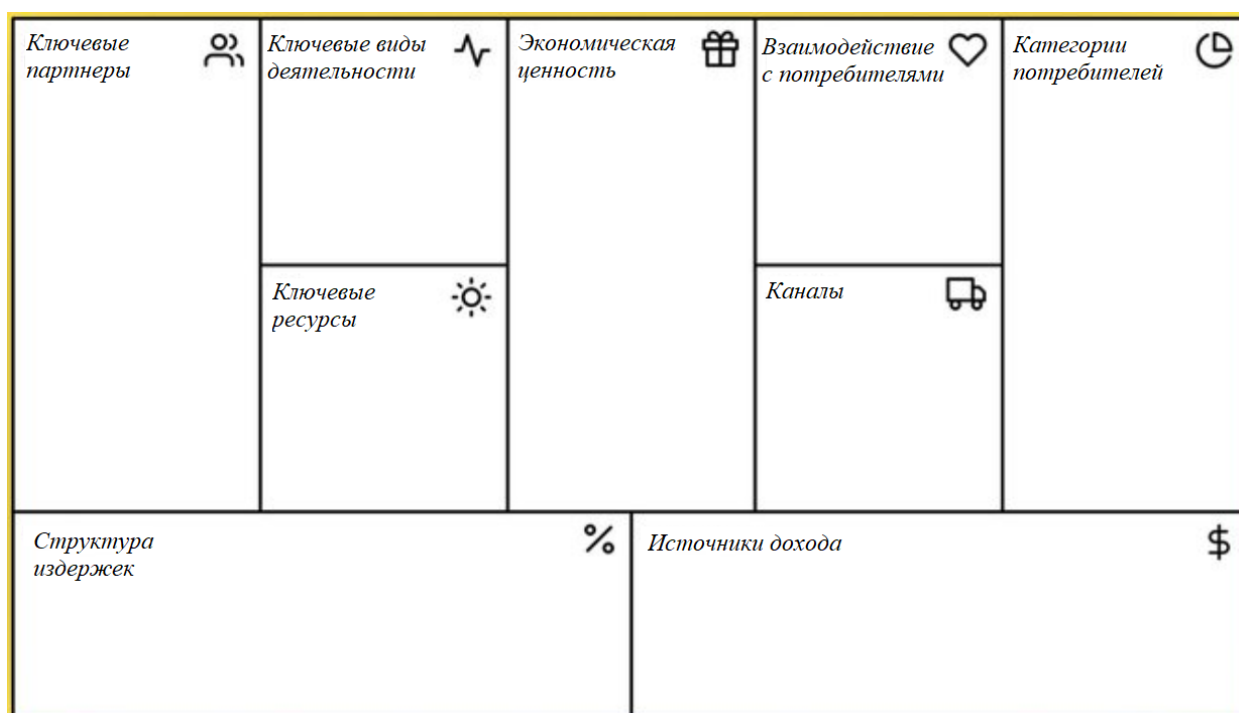


Рисунок 40 – Вариант шаблона бизнес-модели А. Остервальдера

Модель состоит из девяти блоков, которые включают:

Экономическую ценность бизнеса (Уникальное торговое предложение). Экономическая ценность относится к продукту или услуге, которые компания намеревается предложить своим клиентам для удовлетворения их потребностей. Она уникальна для организации, поскольку отличает ее от конкурентов. Описание может быть качественным, отражающим предполагаемый результат и впечатления клиентов, или количественным, описывающим эффективность и цену.

Инфраструктура. Инфраструктура организации, показанная в левой части канвы, состоит из трех ключевых элементов:

- ключевые действия, которые создают экономическую ценность;
- ключевые ресурсы, которые он использовал для создания ценности для своих клиентов;
- альянсы или ключевые партнерские сети, а также то, что мотивирует их быть частью бизнес-модели.

Вместе они описывают, как компания реализует свою экономическую ценность.

Под тремя элементами инфраструктуры в нижней части канвы указывается:

Структура затрат. В блоке «Структура затрат» отображаются все денежные затраты, которые несет бизнес при работе в рамках данной модели. Это могут быть фиксированные затраты на выплату заработной платы сотрудникам и арендную плату за помещения, экономию за счет масштаба, переменные издержки и экономию за счет возможностей.

Потребители. В правой части модель анализирует три аспекта клиентов компании:

- Категории клиентов разбивают рынок в целом, чтобы помочь более конкретно определить и описать его целевых клиентов.
- Каналы доставки связывают потребительский сегмент с экономической ценностью. Например, организация может предоставлять ценность своим клиентам, используя собственные каналы, крупных дистрибьюторов или и то, и другое. Возможно, клиенты обращаются в компанию через Интернет, возможно, они посещают магазин.
- Тип отношений между компанией и ее клиентами. Например, транзакционное, долгосрочное, самообслуживание, совместное создание и т.д.

Вместе они описывают, как клиент ожидает получить доступ к ценностному предложению.

Под тремя клиентскими элементами, внизу канвы происходит детализация.

Источники дохода. Это последний из девяти компонентов канвы бизнес-модели. Он описывает, как компания зарабатывает деньги на своем целевом рынке. Например, предприятия могут получать доход за счет продажи физического продукта, продажи непрерывных услуг в форме подписок, аренды или лизинга актива, такого как автомобиль, лицензирования или взимания платы за рекламу продуктов.

Канву бизнес-модели *Алекса Остервальдера* можно использовать как в стартапах, так и в существующих предприятиях, включая крупные корпорации. После небольшой адаптации идей канву могут также использовать некоммерческие и социальные предприятия.

4.8 Шаблоны бизнес-моделей цифровой экономики

Новые бизнес-модели появляются быстрее, чем когда-либо, так как бизнес-модели будущего способствуют дальнейшему развитию инноваций. Они выходят за рамки размышлений о развертывании новейших технологий или стремления к быстрому расширению, к попыткам стать частью

составных компонентов, которые поддерживают экономику и позволяют обществу развиваться.

Бизнес-модели будущего – это модели, которые будут ориентироваться в сложности завтрашнего мира, чтобы помочь построить экономические и социальные системы, в которых изобретательность, творчество и инклюзивность объединяются, чтобы помочь людям раскрыть свой потенциал и жить лучше.

Эффективная инновация бизнес-модели – это способность открывать новые способы зарабатывания денег. Они чаще всего развиваются путем привязки масштабируемого дохода или возможностей маржи к неиспользованным источникам ценности для клиентов или путем создания более рентабельной ценности, чем у конкурентов. Самые успешные инновации в бизнес-моделях сочетают в себе новые способы зарабатывания денег с использованием инновационного подхода во взаимодействии с потребителем.

Растет число успешных в прошлом компаний, которые сегодня теряют свои конкурентные преимущества, и именно отсутствие у них подлинного лидерства в цифровой экономике может стать причиной исчезновения этих компаний с современного рынка. Это, прежде всего, те компании, которые руководствуются старым мышлением, которое придерживается устаревших убеждений и не соответствуют требованиям действительности.

Существуют некоторые аспекты бизнес-плана, которые будут применимы как к традиционному бизнес-плану, так и к цифровому бизнес-плану:

Видение. В видении бизнеса будет указано, на чем компании хотят сосредоточить свое внимание, и в нем должно быть изложено долгосрочное видение. Оно должно включать в себя миссию, цели и ценности компании для сотрудников, спонсоров и потребителей.

Миссия. Миссией является суть бизнес-целей и принципов, лежащих в их основе. Она должна отражать все аспекты бизнеса, так как это поможет прояснить, чего компания хочет достичь.

Цели. Если компания может позволить себе выделить время для того, чтобы выбрать адаптированные цели, то она будет на верном пути к достижению этих целей. Они не должны быть общими, они должны быть конкретными целями, над которыми можно работать. Например, вместо того, чтобы ставить цель «Мы получим прибыль через шесть месяцев», компании должны поставить цель «Мы реализуем такой объем нашей продукции за такое-то время, чтобы получить прибыль от этого продукта». Будучи конкретными в постановке своих целей, компании держат себя и своих сотрудников на правильном пути к тому, что необходимо сделать для достижения этой цели.

Ценности. Ценности бизнеса должны складываться из трех вещей: принципы, которые компании лично отстаивают; отношения и убеждения, общие для всех в компании, и стандарты поведения, которых компания придерживается.

Существуют также аспекты бизнеса, влияющие на действия, которые необходимо принимать во внимание, и к ним относятся:

Финансы. То, каким образом компании будут получать доход? Каковы вероятные расходы? Каковы прогнозы по прибыли?

Персонал. Какие должности в бизнесе нужно заполнить? Какие политики нужны компаниям исходя из их целей?

Маркетинг. Как компании планируют продавать свое новое предприятие? Здесь нужно включить четыре маркетинговых принципа: цена, продукт, продвижение и место.

Операции. Какие системы будет использовать бизнес? Каковы будут накладные расходы? Как компании могут повысить эффективность?

Клиенты. Кто целевые потребители продукции или услуги компании? Как потребители найдут продукцию или услуги компании? На каких условиях клиенты будут покупать или брать в аренду товары или услуги компании?

*Аренда вместо покупки*¹⁶. Словосочетание «аренда вместо покупки» говорит само за себя. Главное преимущество для клиентов – отсутствие первоначальных затрат на приобретение и возможность пользоваться продуктами, которые в ином случае они бы не могли себе позволить.

«Аренда вместо покупки» – старая бизнес-модель. Существуют свидетельства, позволяющие утверждать, что римляне сдавали в аренду домашний скот уже в 450 г. до н. э. Шаблон «Аренда вместо покупки» существует уже много столетий и продолжает служить стимулом для разработки инновационных бизнес-моделей. Пример – прокат автомобилей. Первые агентства по прокату автомобилей открылись в конце XIX и начале XX вв. Еще одно инновационное преобразование бизнес-модели «Аренда вместо покупки» осуществил производитель фотокопировальных аппаратов Херох. Модель Херох 914 обладала революционными техническими характеристиками, ведь она позволяла копировать несколько тысяч страниц в день вместо 15–20 как раньше. Поскольку устройство было не по карману большинству потенциальных покупателей, компания решила сдавать его в аренду за \$95 в месяц. Такой ход повлек настоящий бум спроса на усовершенствованные копиры, через несколько лет Херох просто не справлялась с объемами производства. Впоследствии журнал Fortune назвал Херох 914 самым успешным продуктом, когда-либо существовавшим на рынке Соединенных Штатов [2].

¹⁶ Гассман О., Шик М., Франкенбергер К. Бизнес-модели: 55 лучших шаблонов. Изд-во «Альпина Диджитал». – 2014. – 334 с.

Однако и в настоящее время развитие цифровых технологий постоянно расширяет возможные ниши применения этой бизнес-модели. Только подумайте: благодаря сети интернет, технологии «Bluetooth», системе «Swift», навигационной системе GPS и другим технологиям с помощью которых работает ваш смартфон, вы можете, не оформляя договор, не оставляя паспорт в залог незнакомому человеку, взять в аренду у станции метро электросамокат и через несколько минут оставив его у входа в корпус в университет работать над своим проектом. При этом время на все формальные операции уйдет не больше, чем на прочтение этого абзаца.

Белая этикетка. Термины «белая этикетка» и «собственная этикетка» могут использоваться как синонимы. Белая этикетка – это когда компании удаляют свой бренд и логотип из своего конечного продукта и вместо этого используют брендинг, запрошенный покупателем.

Цифровой маркетинг белой этикетки может совершенно отличаться от белой этикетки продукта.

В цифровом мире белая этикетка - это когда одна компания покупает услуги другой компании и представляет их клиенту под своим брендом.

Бритва и лезвие. Бизнес-модель «бритва и лезвие» - также известная как бизнес-модель «наживка и крючок» - это очень хорошо зарекомендовавшая себя и известная во всем мире бизнес-модель. Такие всемирно известные бренды, как “Gillette”, “HP”, “Nespresso” и многие другие, успешно используют эту бизнес-модель.

Например, когда покупается лезвие, соответствующее той модели бритвы, которая уже имеется. Именно так работает эта бизнес-модель: каждый раз, когда человек или компания приобретают картридж для принтера или капсулу с кофе, которая подходит к уже приобретенной кофеварке, они участвуют в этой стратегии.

Компания использует бизнес-модель бритвы и лезвия каждый раз, когда она продает исходный продукт по низкой цене, а затем продает сопутствующие товары.

Первой компанией, разработавшей и внедрившей эту бизнес-модель, была Gillette. По этой причине эта бизнес-модель стала известной как «бритва и лезвие». Идея бизнес-модели «бритва и лезвие» заключается в следующем: избегать конкуренции, предлагая в первую очередь очень дешевый продукт, и гарантировать лояльность потребителей посредством сопутствующих товаров.

Двусторонний рынок. Компания, применяющая бизнес-модель «Двусторонний рынок», облегчает взаимовыгодное взаимодействие двух дополняющих друг друга групп, выполняя роль посредника или некой платформы. Например, рекрутинговые веб-сайты связывают специалистов по подбору кадров и людей, ищущих работу, а поисковые системы привлекают как пользователей, так и рекламодателей. Краеугольным

камнем данной концепции является так называемый косвенный сетевой эффект: чем больше людей из одной группы пользуются той или иной платформой, тем более заманчивой она становится в глазах другой группы. Эффект работает в обоих направлениях. При использовании такой платформы сложнее всего направлять две группы пользователей так, чтобы максимально усилить косвенный сетевой эффект. Если успешно справиться с этой задачей, клиенты будут прочно привязаны к компании. При этом возможно выбрать в качестве цели три и больше пользовательские группы: тогда речь идет о многостороннем рынке. Поисковая система Google представляет собой трехсторонний рынок, сводящий интернет-пользователей, владельцев веб-сайтов и рекламодателей. Не все участники обязаны платить за свое участие: в случае поисковых систем они бесплатны для пользователей, но не для рекламодателей, которые оплачивают свое попадание на веб-сайт [2].

Прежде чем «Двусторонний рынок» начнет работать, предстоит разрешить проблему яйца и курицы. В отсутствие клиентов, использующих платформу, ни у одной из групп не возникнет желания к ней присоединиться. Следовательно, сама ситуация обуславливает необходимость как можно скорее познакомить пользователей с платформой посредством масштабных рекламных кампаний и специальных предложений.

Этот шаблон существует уже очень давно. Более 600 лет назад эту концепцию применили биржи. Он является основой многих инновационных бизнес-моделей, в частности, в бизнесе, связанном с кредитными картами. Компания – эмитент кредитных карт сводит вместе владельцев кредитных карт, с одной стороны, и магазины, принимающие эти карты, с другой.

Онлайновые торговые площадки – eBay, Amazon или Zappos – облегчают взаимодействие покупателей и продавцов и в таковом качестве также являются двусторонними рынками.

Схемы, которые применяются JCDesaux, Facebook и изданиями Metro и финансируются за счет рекламы, также представляют собой двусторонние рынки, сводящие вместе рекламодателей и пользователей. Две группы находят друг друга посредством косвенного сетевого эффекта; рекламодатели получают пользу от классических покупателей, которые просматривают рекламу, а клиенты – от рекламодателей, которые своей рекламой осуществляют перекрестное финансирование.

Многосторонняя бизнес-модель, объединяющая разных участников, практически обязательна для всех компаний. Традиционные модели «один на один» более не в состоянии успешно конкурировать на рынке. Вы должны иметь четкое представление о главных участниках и понимать, каким образом они взаимосвязаны. Исходя из этого, продумайте, как должна выглядеть многосторонняя бизнес-модель вашей компании [2].

Долевая собственность. Совместное владение - отличный способ получить долю в собственности, когда нет возможности позволить себе купить ее прямо на открытом рынке. При долевой собственности можно купить большую часть дома, постепенно увеличив свою долю. Схемы долевой собственности предоставляются жилищными ассоциациями или частными застройщиками. Детали, стоимость и ограничения различаются в зависимости от поставщика, поэтому нужно изучить индивидуальные достоинства каждого из них и ознакомиться мелкими шрифтами договора.

Основное преимущество долевого владения состоит в том, что его легче достичь, чем полного владения. Совместное владение также предпочтительнее сдачи в аренду, поскольку часть недвижимости, которая находится в собственности, вырастет в цене, если цены на недвижимость пойдут вверх. Если такое произойдет, то образуется некоторая доля капитала, которая поможет сделать следующий шаг для увеличения своей доли.

Долевая собственность – это специализированный продукт, требующий меньшего депозита и более низких выплат по кредиту, чем покупка или аренда. Это не обязательно самый подходящий вариант для всех тех, кто рассматривает возможность владения домом, и нужно убедиться, что продукт полностью доступен и подходит для долгосрочных потребностей, прежде чем инвестировать в него.

Интегратор. При использовании бизнес-модели «Интегратор» компания контролирует все или практически все элементы логистической цепочки, принимая непосредственное участие в различных этапах производственного процесса, от получения сырья до производства и дистрибуции. Полный контроль позволяет компании повышать экономию за счет охвата и эффективности. Такой подход помогает избежать задержек из-за зависимости от третьих лиц с последующим сокращением затрат. Кроме того, компания должна снизить операционные издержки, адаптировав цепочку создания стоимости к потребностям и процессам отрасли. Компания выиграет от более эффективного создания стоимости (например, за счет сокращенного времени на транспортировку или более точной координации промежуточных продуктов) и оперативного реагирования на рыночные изменения. Но у интеграции есть и минус: компания не может с выгодой для себя использовать специализацию, которая обеспечивается привлечением узкоспециализированных поставщиков для выполнения специфических заданий [2].

Шаблон «Интегратор» появился на свет в период индустриализации в начале XIX в. и ходе основания первых крупных международных компаний. К интеграции эти компании подталкивало прежде всего желание максимально упрочить свои позиции на рынке и обеспечить себе доступ к важнейшим ресурсам и каналам дистрибуции.

Ford Motor Company популяризировала интеграцию в автомобильной индустрии, известной очень узкой номенклатурой производства. В начале XX в. с целью повысить эффективность массового производства автомобилей компания Ford начала выпускать многие компоненты, которые ранее закупались у других производителей. Покупка сталелитейного завода позволила компании самой заниматься производством стали.

Испанский модный бренд Zara также использует бизнес-модель «Интегратор». В отличие от большинства конкурентов, Zara решила не отдавать пошив одежды на аутсорсинг в Азию и другие развивающиеся страны. Вместо этого компания разрабатывает дизайн и шьет большую часть одежды и аксессуаров на собственных фабриках в Испании и других европейских странах. Благодаря этому компания в состоянии оперативно реагировать на изменения модных тенденций и колебания спроса. Как следствие, на выпуск новой коллекции, от чертежной доски до витрин магазинов, у Zara уходит две-три недели.

Конкуренты, шьющие одежду в Китае, выигрывают от экономии издержек, но это происходит за счет значительных временных потерь: морские перевозки из Китая через весь земной шар занимают несколько недель. Если новая коллекция не оправдывает ожиданий покупателей, Zara в состоянии за очень короткое время внести нужные изменения или полностью остановить производство. Данная бизнес-модель подняла Zara до уровня одной из самых инновационных и успешных компаний в индустрии моды.

Данный шаблон подразумевает фокус на идущей сверху вниз цепочке создания стоимости. Интеграция имеет два ощутимых преимущества: высокую маржу и лучшее понимание всей цепочки создания стоимости. По мере того, как клиенты все больше склоняются в сторону универсальных решений, попробуйте последовать примеру 3М и интегрировать различных поставщиков для создания собственного предложения. Но помните: чтобы преуспеть, вам придется овладеть широким диапазоном знаний за счет отказа от глубины и специализации [2].

Массовая кастомизация – это метод, который делает производственные процессы достаточно гибкими, чтобы производить продукцию точно в соответствии с тем, что хочет заказчик, сохраняя при этом затраты на низком уровне. Данная концепция максимально использует как персонализацию, так и массовое производство, что приводит к созданию рентабельной производственной системы.

Промышленная революция продвинула человечество далеко вперед, улучшая процессы от забивания гвоздей до создания огромного количества идентичных автомобилей за считанные минуты. С введением сборочной линии массовое производство трансформировало эту экономическую деятельность с негативным эффектом, заключающимся в уменьшении силы голоса отдельных клиентов и удалении компонента персонализации.

Таким образом, можно достичь более высокого уровня удовлетворенности клиентов, поскольку отдельные клиенты получают продукты, которые соответствуют их потребностям, потому что они обладают уникальными и индивидуальными свойствами.

Одна из самых замечательных особенностей этой концепции заключается в том, что она предназначена не только для гигантских компаний, но и подходит для малых предприятий, предлагая клиентам уникальное и персонализированное предложение, чего часто бывает трудно достичь первым из-за жёстких производственных операций.

Краудсорсинг – это модель решения проблем и реализации задач, которая все чаще используется. Благодаря возможности использования коллективного разума из Интернета, благодаря краудсорсинговым инициативам люди могут, например, найти решение сложной химической проблемы, получить изображения или разработать логотип. Успех и полезность краудсорсинга побуждает исследователей обращать внимание на эту концепцию. Этот факт показал, что концепция краудсорсинга не имеет четких границ, и хотя со временем она стала лучше объяснена, некоторые авторы описывают ее по-разному, предлагают разные типы инициатив краудсорсинга или даже используют противоречивые примеры краудсорсинга.

Краудсорсинг относится к модели решения проблем и выполнения задач, которая предполагает участие интернет-пользователей. Он представляет собой лишь один из многих способов использовать коллективный разум. Его использование все шире распространяется во многих областях: медицине, биологии, астрономии и т.д.

Краудсорсинг – это явно развивающаяся область исследований, которая сейчас привлекает повышенное внимание и перешла от теоретических подходов к систематическому изучению его конкретных приложений в большом количестве других областей.

Краудфандинг. Предприниматели начали полагаться на краудфандинг для финансирования своих проектов. В бизнес-сообществах активно обсуждаются две отдельные области: во-первых, краудфандинг может способствовать инновациям, предлагая новые источники капитала компаниям и тем самым сокращая дефицит финансирования инновационных стартапов. Во-вторых, краудфандинг дает толпе возможность участвовать в инновационном процессе, обеспечивая обратную связь с предпринимателем. Эта обратная связь может принимать различные формы, включая предоставление идей по развитию продукта во время и после кампании (в духе краудсорсинга), а также предоставление ценной информации о будущем спросе на новый продукт [28].

Важным вопросом экономики и государственной политики, который до сих пор мало изучался, является связь между краудфандингом и инновациями, за некоторыми исключениями.

Первая и непосредственная возможность заключается в том, что краудфандинг может предоставить новый источник финансирования для инновационных проектов. Если краудфандинг предоставляет деньги проектам, которые не финансировались бы иначе или более эффективно, чем традиционные источники финансирования, то он может способствовать инновационной деятельности [28]. Вторая возможность заключается в том, что краудфандинг может позволить толпе участвовать в самом инновационном процессе. Действительно, краудфандинг иногда ассоциируется с краудсорсингом.

Краудфандинг открывает новые возможности финансирования для определенных типов малых инновационных компаний. Таким образом, краудфандинг играет роль в восполнении дефицита финансирования, традиционно выявляемого для малого бизнеса. Следовательно, это может способствовать развитию инноваций в малых предприятиях. Однако вклад краудфандинга в инновации не может ограничиваться предоставлением финансовых ресурсов. Это также может позволить спонсорам участвовать в развитии инновационного процесса, предоставляя предпринимателям обратную связь и идеи [28]. Несмотря на продолжающиеся исследования с целью изучения этих взаимодействий, еще предстоит более подробно изучить значимость влияния краудфандинга на инновационный процесс.

Ты – мне, я – тебе, «от человека к человеку».

Термин «ты – мне, я – тебе» возник в компьютерной индустрии, где он обозначает взаимодействие двух или более одноранговых компьютеров. В контексте бизнес-моделирования эта схема обычно описывает операции между частными лицами, например такие, как аренда личных вещей, оказание специальных услуг или передача информации и опыта. Компания-организатор выступает как своего рода посредник, отвечающий за безопасное и эффективное проведение операций, в идеале превращаясь в центр взаимодействия внутри сообщества. С течением времени данная функция может монетизироваться, к примеру, путем взимания операционных комиссионных или косвенного генерирования дохода посредством рекламы и пожертвований [48].

Основное преимущество бизнес-модели «Ты – мне, я – тебе» состоит в том, что клиенты имеют возможность пользоваться принадлежащими частным лицам товарами и услугами точно так же, как они бы пользовались коммерческими предложениями. К тому же клиентам импонируют социальные аспекты сетей, построенных по принципу «Ты – мне, я – тебе». Успех компании, реализующей именно эту бизнес-модель, зависит от того, удастся ли ей сформировать надежный имидж различных предложений (как). Ведь клиенты, хотя они и высоко ценят возможность приобретать частные товары и услуги, хотят получить простоту и легкость коммерческих сделок [2].

Бизнес-модель «Ты – мне, я – тебе» начала развиваться в начале 1990-х. Появление Интернета стало главным движущим фактором в ее развитии. Частичное влияние оказала также и тенденция «совместного потребления». Эта тенденция строится на желании возродить дух общности и коллективное пользование ресурсами. Онлайн-аукцион eBay – один из основоположников этой схемы – предоставляет людям из 30 стран возможность выставить на продажу ненужные вещи. Каждый день на eBay проходит около 12 млн аукционов.

Шаблон «Ты – мне, я – тебе» не миновал и сферу арендного жилья. Airbnb – частная компания из Сан-Франциско. Она предлагает пользователям («хозяевам») сдать широкому кругу лиц в аренду свои дома, комнаты, квартиры, замки, лодки и т. д. Зарегистрировавшись на удобном веб-сайте, пользователи Airbnb описывают свое имущество, предназначенное для краткосрочной аренды туристами или другими людьми, нуждающимися в жилье по приемлемым ценам. Во избежание обмана была введена рейтинговая система как для хозяев, так и гостей. Основной источник дохода Airbnb складывается из комиссионных за бронирование (от 6 до 12 %), а также из комиссионных за оформление платежей по кредитным картам.

Максимальный эффект этого шаблона проявляется в онлайн-сообществах. Его краеугольный камень – повышение предельной полезности. С каждым новым пользователем растет привлекательность сети для остальных участников. Возникает самоусиливающийся цикл, при котором «победитель забирает все», а новым игрокам чрезвычайно трудно закрепиться на этом рынке [48].

Управление данными о клиентах. Управление данными о клиентах – деятельность, которая особенно выигрывает от современного технологического прогресса и возможностей, которые открываются в области сбора и обработки данных. Компании, чья основная деятельность сосредоточена на получении и анализе информации (как), преуспевают, что свидетельствует о колоссальном спросе в этом сегменте. Популярность этой концепции подтверждается тем, что все чаще говорят о том, что «информация – это новая нефть». Еще в 2006 г. Майкл Палмер отмечал в своем блоге, что от массивов необработанных или непроанализированных данных проку так же мало, как от неочищенной нефти. И то и другое нуждается в переработке, чтобы представлять хоть какую-то ценность для бизнеса [2].

Собранные данные о клиентах используются для создания профилей различных людей. Индивидуальные профили содержат порой до тысячи характеристик. Учитывая невероятное увеличение объемов поступающей информации – согласно последним подсчетам, они увеличиваются в десять раз каждые пять лет, – нет ничего удивительного в том, что некоторые крупные базы данных удостоились специального наименования. Термином

«большие данные» мы описываем гигантские массивы информации, которые невозможно оценить с помощью традиционных систем управления базами данных. Многие современные методы анализа данных принадлежат сфере «добыче знаний». Благодаря непрерывно совершенствующимся компьютерным технологиям мы получили возможность анализировать данные в колоссальных объемах с невиданной доселе легкостью. Практическое применение шаблона мало зависит от конкретной отрасли: промышленность, энергетика, финансы, здравоохранение – все они пользуются приложениями для больших данных. Управление данными о клиентах помогает упрочить конкурентное преимущество, определить потенциальные возможности для экономии, проводить анализ рынка в режиме реального времени, готовить более эффективную рекламу и выявлять нерешенные проблемы. Если говорить кратко, оно является чрезвычайно мощным инструментом в принятии решений [2].

С началом распространения Интернета покупатели оставляли все больше цифровых следов, вот почему компаниям, в частности розничным предприятиям, становилось все проще собирать подобную информацию и формировать детальные и персонализированные профили покупателей. В практику были внедрены новые способы применения этих данных, что не могло не породить волну общественной критики, в связи с чем многократно участились случаи беспокойства по поводу конфиденциальности данных.

Бизнес-модели социальных интернет-медиа целиком и полностью зависят от анализа пользовательских данных. Facebook и Twitter используют эти данные для более эффективного размещения третьими сторонами персонализированной рекламы на страницах социальных сетей. Оба ресурса пока остаются бесплатными, поэтому предоставляемые пользователями сведения можно считать платой за пользование.

Шаблон «Управление данными о клиентах» дает прекрасные результаты в сочетании с потоком «скрытого дохода». Поведение клиентов и совершаемые ими операции оставляют цифровые следы, которые можно анализировать с различных точек зрения. Данные о клиентах нередко используются при объединении разнородных компаний. В качестве примера можно привести «умный дом», использующий поисковые системы Google. Поскольку потребители все лучше осознают риски, связанные с предоставлением персональных данных, вам придется со всей тщательностью оценить, каким образом эти настроения смогут повлиять и, вероятнее всего, повлияют на ваш бизнес [2].

Freemium можно определить как двуступенчатую структуру приобретения, которая классифицирует пользователей как премиум или бесплатный уровень в зависимости от того, платит ли пользователь за доступ к учетной записи службы. Пользователи категории бесплатного пользования получают очень ограниченный доступ к продуктам и функциям, потому что они не платят. Премиум-пользователи, с другой

стороны, имеют широкий доступ к продуктам и функциям, но им необходимо внести оплату, чтобы продолжать пользоваться тем же уровнем доступа.

Модель freemium создает естественную конфигурацию для воспитания, так как она предоставляет пользователям возможность сталкиваться с продуктами и взаимодействовать с ними без необходимости подвергаться воздействию продавцов или маркетинговых кампаний.

Как только продукт достигает успеха, пользователи бесплатного уровня в итоге исчерпывают свой доступ к функциям, после чего им необходимо принять решение, основываясь на опыте, стать ли участником премиум-уровня.

Чтобы модель freemium работала успешно, должен быть определенный уровень ограничений на определенные функции продукта. Это можно сделать несколькими способами:

1. Ограничение возможностей. Freemium работают хорошо, когда разработчики предлагают дополнительные функции, превосходную функциональность или платные обновления, которые могут понадобиться потребителям. Доступ к функциям ограничен для пользователей бесплатного уровня.

2. Квота использования. Квота использования включает лимиты хранения, повторяющиеся кредиты или квоты на выдачу информации.

3. Ограниченная поддержка. При ограниченной поддержке freemium могут предлагать многоуровневые продукты, функции поддержки и различные уровни обслуживания клиентов.

Ограничение использования или доступа к продуктам создает трения, особенно для пользователей бесплатного уровня, и поощряет переход на более высокий уровень. Предприятия используют такие ограничения, чтобы усилить эффект трения.

Ограничения заставляют клиентов хотеть получить доступ к большему количеству функций, но разработчики должны убедиться, что аппетит пользователей не настолько велик, чтобы клиенты упускали из виду основную ценность продукта. Должен быть баланс, а это требует глубокого понимания и знания потребностей потребителей и ценности, получаемой от продукта.

Данный шаблон пользуется популярностью у интернет-компаний, у которых предельные издержки производства стремятся к нулю и которые пользуются преимуществами сетевого внешнего эффекта. В прошлом такие типы компаний применяли модель Freemium, чтобы протестировать приемлемость нового программного обеспечения или бизнес-моделей для пользователей. Данный шаблон дает еще более положительные результаты, если он одновременно активно ориентирован на клиентов [2].

4.9 Оцифровка, автоматизация, цифровизация и цифровая трансформация

Многие люди смешивают определения либо по незнанию, либо для собственной выгоды, что создает путаницу, потому что внезапно мы говорим о разных вещах, но называем их одним и тем же. Где-то называют дигитализацию цифровой трансформацией, чтобы одобрить проект или продать продукт или услуги.

Оцифровка. Оцифровка относится к созданию цифрового представления физических объектов или атрибутов. Например, мы сканируем бумажный документ и сохраняем его как цифровой документ, скажем, в формате PDF. Другими словами, оцифровка – это преобразование чего-то нецифрового в цифровое представление или артефакт. Компьютеризированные системы могут затем использовать его для различных случаев использования. Примером из производства может быть преобразование измерения из ручного или механического в электронное.

Оцифровка – это основа, связь между физическим миром и программным обеспечением и является активатором всех процессов, которые обеспечивают ценность для бизнеса из-за потребности в расходных данных.

Под цифровизацией понимается обеспечение возможности или улучшение процессов за счет использования цифровых технологий и оцифрованных данных.

Цифровизация увеличивает производительность и эффективность при одновременном снижении затрат. Она улучшает существующие бизнес-процессы, но не меняет и не трансформирует их. Другими словами, требуется процесс от события, управляемого человеком, или серии событий, до управляемого программным обеспечением события.

Цифровая трансформация – это действительно трансформация бизнеса благодаря цифровизации. Название «цифровой» звучит неправильно, потому что сущность цифровой трансформации – это изменение бизнес-процессов, вызванное технологиями цифровизации.

Точность в общении является одним из важнейших коммуникативных навыков.

Оцифровка относится к созданию цифрового представления физических объектов или атрибутов. Под цифровизацией понимается обеспечение возможности или улучшение процессов за счет использования цифровых технологий и оцифрованных данных. Цифровая трансформация – это действительно трансформация бизнеса благодаря цифровизации. Индустрия 4.0 является европейской комбинацией цифровой трансформации и цифровизации.

Цифровая трансформация организации

Цифровая трансформация – это культурные, организационные и операционные изменения в организации, отрасли или экосистеме посредством интеллектуальной интеграции цифровых технологий, процессов и компетенций на всех уровнях и функциях поэтапным и стратегическим способом.

Цифровая трансформация использует технологии с целью создания ценности и новых услуг для различных заинтересованных сторон (клиентов в самом широком смысле), внедрения инноваций и приобретения возможностей для быстрой адаптации к меняющимся обстоятельствам.

Несмотря на то, что цифровая трансформация преимущественно используется в бизнес-контексте, она также влияет на другие организации, такие как правительства, учреждения государственного сектора и организации, которые участвуют в решении социальных проблем, таких как загрязнение окружающей среды и старение населения, за счет использования одной или нескольких из существующих и новых технологий.

В некоторых странах, например в Японии, цифровая трансформация даже направлена на то, чтобы повлиять на все аспекты жизни людей, благодаря национальной инициативе «Общество 5.0» (которая имеет некоторое сходство с видением промышленной трансформации Индустрии 4.0).

Цифровая трансформация - это глубокая трансформация деловой и организационной деятельности, процессов, компетенций и моделей для полного использования изменений и возможностей сочетания цифровых технологий и их ускоряющегося воздействия на общество стратегическим и приоритетным образом с учетом нынешних и будущих изменений.

Цифровые технологии и способы их использования в личной жизни людей, на работе и в обществе изменили и будут продолжать менять облик бизнеса. Так было всегда, но темпы, с которыми это происходит, ускоряются и опережают темпы преобразований в организациях.

Поскольку цифровая трансформация является де-факто очень гиперсвязанной реальностью на человеческом, общественном и различных уровнях бизнеса и технологий, линейное управленческое мышление и разрозненные подходы уступают место гибридным, интегрированным, инклюзивным и гибким взглядам на экосистему за пределами классической расширенной модели предприятия.

Концепция Индекса зрелости Индустрии 4.0 (цифровой зрелости). По мере ежегодного развития технологий производственная промышленность открывает новые возможности. Индустрия 4.0, пожалуй, является наиболее многообещающей среди текущих новых тенденций. Шестиэтапный процесс индекса зрелости Индустрии 4.0 описывает путь, который каждый производитель предпринимает к цифровой зрелости, от использования

зарождающихся цифровых решений до автоматического использования прогностических возможностей полностью подключенной к автоматизированной сети. Заводы могут использовать цифровое производство для значительного увеличения своего производственного потенциала, но не все предприятия в равной степени готовы воспользоваться этой технологией. Те, кто может достичь более поздних стадий цифровой зрелости, теперь имеют шанс превзойти своих коллег и охватить большую долю клиентской базы своей отрасли.

Модель зрелости Индустрии 4.0 состоит из шести последовательных этапов, которые производители постепенно проходят по мере обновления своих цифровых возможностей.

– Этап 1: Компьютеризация

На первом этапе компании используют цифровые решения в виде обработки данных с помощью числового программного управления. Однако все эти решения работают изолированно. Они не связаны друг с другом, и нет способа координировать совместные усилия между ними без значительного ручного ввода. Любые производственные данные, которые они собирают, также индивидуализированы, разрознены и доступны только после завершения производства.

– Этап 2: Связь

Компании переходят к этому этапу, когда их цифровые решения каким-то образом связаны друг с другом. Производители могли достичь этой стадии еще в начале 2000-х, подключив свои машины к Интернету. На этом этапе возможна некоторая связь между машинами, но обычно она медленная и неэффективная. Соединениям не хватает гибкости, чтобы идти в ногу с производственными событиями по мере их возникновения, что приводит к разрыву между данными и наблюдаемой реальностью в производственном цикле.

– Этап 3: Видимость

К третьему этапу процесса производители преодолевают это узкое место и теперь имеют доступ к «цифровой копии» своего завода с исчерпывающими данными в реальном времени. Эти данные достаточно подробны, чтобы наблюдатели могли точно знать, что происходит на заводе в любой момент времени, но для этого может не хватать организации. На данный момент наличие самих данных является единственным определяющим фактором.

– Этап 4: Прозрачность

На данном этапе цифровое развитие переходит от расширения технических возможностей к использованию аналитики. Чтобы достичь этого, производители должны научиться интерпретировать и понимать собранные данные. Большинство программного обеспечения для управления цехами выполняет этот тип анализа автоматически, сортируя и отображая соответствующие данные в ответ на запросы пользователей.

– Этап 5: Способность прогнозирования

Здесь производители используют имеющиеся в их распоряжении данные в реальном времени, чтобы делать прогнозы о будущем своих производственных возможностей. Это включает в себя понимание таких вопросов, как, например, когда может произойти остановка работы, когда может произойти сбой контроля качества, где предприятие может сэкономить на потреблении энергии и многое другое. Это еще одна область, в которой программное обеспечение играет важную роль для управления цехами.

– Этап 6: Адаптируемость

На заключительном этапе цифровые системы на объекте получают возможность действовать независимо, используя свои аналитические и прогнозные способности. Они могут принимать меры для адаптации к меняющимся условиям по мере их развертывания, организовывая персонал и исполняя их обязанности для выполнения рутинных операций, а также чрезвычайных ситуаций и возникающих проблем.

Индустрия 4.0 приходит в производство вне зависимости от того, готова отрасль или нет. Множество преимуществ, которые она предлагает на более поздних стадиях, лишают сообразительных производителей возможности сопротивляться. Чем больше предприятий будут внедрять цифровые решения в свой производственный процесс, тем более актуальным будет для их конкурентов сделать то же самое.

Ценностно-ориентированные этапы развития: информатизация, связность, наглядность, проницаемость, предсказуемость, самокоррекция.

Создание успешного бизнеса сопряжено с определёнными сложностями. На раннем этапе предприниматели сталкиваются с проблемами ликвидности, чтобы инвестировать в рост, оставаясь при этом гибкими и отзывчивыми. Выживание находится в центре внимания, и владельцы бизнеса глубоко погружаются в детали управленческих решений. По мере роста бизнеса новые клиенты, продукты, каналы и регионы экспоненциально увеличивают количество и сложность управленческих решений. В то время как новые сотрудники приглашаются на помощь, владельцы, как правило, погружаются в повседневное принятие решений.

Чем больше созревает компания, тем важнее для владельцев бизнеса отказаться от некоторого контроля и позволить своей команде работать самостоятельно. Интегрированный набор методов стратегического управления может помочь растущему бизнесу заложить основу, которая создает устойчивые ценности и культуру, побуждающую людей с энтузиазмом приходить на работу. Несмотря на то, что данный процесс не будет завершен в одночасье, есть основные шаги, которые владельцы и их управленческие команды могут предпринять, чтобы достичь этого.

Необходимо выделить факторы ценности для достижения финансовых и операционных целей. Нужно назначить владельцев, которые будут отвечать за каждую цель, и следить за планом их выполнения.

Двигаться от хорошего к лучшему:

- Хорошо – организационные диаграммы иллюстрируют роли, отношения отчетности и пределы контроля.

- Лучше – должностные инструкции суммируют ожидаемые роли и стандарты выполнения работы.

- Лучшее – корпоративная стратегия каскадно направлена на достижение целей на уровне отдела и отдельного сотрудника. Определены роли в общем корпоративном успехе и предоставлена возможность сотрудникам составить план выполнения.

Организационные возможности должны поддерживать стратегические цели. Какие ресурсы имеются или нужны для успеха бизнеса? Понимание этого поможет расставить приоритеты для инвестиций, чтобы заполнить пробелы в людях, процессах или технологиях.

Отслеживание ключевых показателей позволит повысить ответственность и вознаграждение тех, кто положительно влияет на эффективность бизнеса. Постановка достижимых целей перед командой и наблюдение за их успехом, так как согласование целей сотрудников со стратегией компании ведет к правильному поведению и создает беспроблемную культуру.

Эти простые шаги по созданию культуры, ориентированной на ценности, могут помочь:

- Достичь стратегических и финансовых целей. Определить финансовые цели и плана их достижения, что является отправной точкой для устойчивого создания стоимости.

- Привлекать и удерживать хороших сотрудников. Людям нравится, когда им бросают вызов, уважают и ценят. У счастливых сотрудников всегда будет заинтересованность, и они будут действительно заботиться об эффективности бизнеса.

- Построить компанию, менее зависимую от собственника. Владельцы могут взять отпуск, заняться семьей или другими внешними проблемами, не отвлекаясь от работы или беспокоясь о бизнесе.

Изменить любую организацию сложно, так как для этого требуется совместная рабочая сила. Каждый день владельцы сталкиваются с бизнес-проблемами, требующими внимания и лидерства, из-за чего им трудно найти время, чтобы отвлечься от деталей и сосредоточиться на более широкой картине. Тем не менее, это время может оказаться для реальных изменений в бизнесе самым ценным, как в финансовом, так и в личном плане.

Характеристики предприятий на этапе цифровой трансформации.
Характеристики цифрового предпринимательства и цифровой

трансформации, а также их взаимосвязь сложны и важны для понимания. Такое понимание цифрового предпринимательства воспринимается как ключевой элемент экономического роста, создания рабочих мест и инноваций. Однако ряд проблем, связанных с цифровым предпринимательством и цифровой трансформацией, является преобладающим, что мешает цифровым предпринимателям оптимизировать преимущества, которые цифровое предпринимательство вносит в ценность бизнеса. Понимая характеристики цифрового предпринимательства и цифровой трансформации, отдельные лица и организации могут либо создавать новые деловые предприятия, либо трансформировать существующие предприятия путем разработки новых цифровых технологий или инновационного применения таких технологий.

Кроме того, цифровое предпринимательство глубоко укоренилось в цифровых возможностях. Темпы технологического развития постоянно растут, и цифровые предприниматели осознают возможности, которые создает этот рост. Чтобы воспользоваться этими возможностями, предприниматели стремятся к цифровой трансформации. Цифровую трансформацию можно определить как процесс изменений компаниями своей деятельности, а в более широком смысле это также может относиться к постоянным изменениям нашей цивилизации с использованием технологий. Цифровая трансформация предполагает изменение бизнес-практик с целью включения цифровых технологий во все аспекты бизнеса.

Материальные и нематериальные ресурсы. Удовлетворение различных материальных и нематериальных потребностей требует определенных действий, предпринимаемые индивидуально или в команде, которые обладают определенными ресурсами. Потребности, как факторы, мотивирующие деятельность человека, становятся внутренним элементом всей деловой активности. Человеческая деятельность, основанная на производстве различных активов, необходимых для удовлетворения потребностей, называется производством и полученными товарами - продуктами. Производство возможно благодаря использованию производственных факторов.

Производство, независимо от уровня социально-экономического развития, всегда осуществляется в условиях объективных ограничений (ресурсов, факторов производства и времени). С другой стороны, человеческие потребности вовсе не ограничиваются – когда одни потребности уже удовлетворены, возникают следующие. В такой ситуации необходимо осознать наличие редкости, которая является результатом связи между потенциальным спросом на товары и ограниченными возможностями производства.

Дефицит ресурсов и неограниченные потребности – это основная причина необходимости эффективного управления. Бизнес-субъекты

вынуждены постоянно делать альтернативный выбор, связанный с распределением ресурсов, и они стремятся к оптимизации выбора.

Материальные ресурсы представляют собой элементы имущества на балансе компании (инструменты, оборудование, финансовые средства), они могут быть оценены. К нематериальным ресурсам относятся элементы, которые очень сложно оценить, такие как бренд, репутация, интеллектуальная собственность.

Информационные системы. Информационные системы, интегрированный набор компонентов для сбора, хранения и обработки данных, а также для предоставления информации, знаний и цифровых продуктов. Деловые фирмы и другие организации полагаются на информационные системы для выполнения и управления своими операциями, взаимодействия со своими клиентами и поставщиками и конкуренции на рынке. Информационные системы используются для управления межорганизационными цепочками поставок и электронных рынков. Например, корпорации используют информационные системы для обработки финансовых счетов, управления своими человеческими ресурсами и привлечения потенциальных клиентов с помощью онлайн-акций. Многие крупные компании полностью построены на информационных системах. Правительства разворачивают информационные системы для рентабельного предоставления услуг гражданам. Цифровые товары, такие как электронные книги, видео-продукты и программное обеспечение, а также онлайн-услуги, такие как игры и социальные сети, поставляются с информационными системами. Люди полагаются на информационные системы, обычно на базе Интернета, для ведения большей части своей личной жизни: для общения, учебы, покупок, банковских операций и развлечений [11].

Основными компонентами информационных систем являются компьютерное оборудование и программное обеспечение, телекоммуникации, базы данных и хранилища данных, человеческие ресурсы и процедуры. Аппаратное обеспечение, программное обеспечение и телекоммуникации представляют собой информационные технологии (ИТ), которые в настоящее время используются в операциях и управлении организациями [11].

Организационная структура. Под организационной структурой понимается то, как координируется индивидуальная и командная работа внутри организации. Для достижения целей и задач организации необходимо координировать и управлять индивидуальной работой. Структура - ценный инструмент в достижении координации, поскольку она определяет отношения отчетности (кто кому подчиняется), очерчивает формальные каналы связи и описывает, как отдельные действия отдельных лиц связаны друг с другом. Организации могут функционировать в рамках ряда различных структур, каждая из которых обладает определенными

преимуществами и недостатками. Несмотря на то, что любая структура, которая не управляется должным образом, будет сталкиваться с проблемами, некоторые организационные модели лучше приспособлены для конкретных сред и задач.

Культура организации. Хорошая организационная культура - ключ к развитию качеств, необходимых для успеха в бизнесе. Эффективность организационной культуры отражается в прибыли: компании со здоровой культурой в 1,5 раза чаще демонстрируют рост выручки на 15 и более процентов за три года и в 2,5 раза чаще демонстрируют значительный рост запасов за тот же период.

Организационная культура – это совокупность ценностей, ожиданий и практик, которые направляют и информируют действия всех членов команды. Она представляет собой набор черт, которые делают компанию такой, какая она есть. Хорошая организационная культура демонстрирует положительные черты, которые приводят к повышению производительности, в то время как неблагополучная организационная культура выявляет качества, которые могут помешать даже самым успешным организациям. Организационная культура влияет на все аспекты каждого бизнеса, от пунктуальности и тона до условий контрактов и льгот сотрудникам. Когда организационная культура совпадает с культурой сотрудников, они с большей вероятностью будут чувствовать себя более комфортно, с поддержкой и ценностью.

4.10 Информационные системы

Согласно Федеральному закону РФ N 149-ФЗ "Об информации, информационных технологиях и о защите информации", *«информационная система – это совокупность содержащейся в базах данных информации и обеспечивающих ее обработку информационных технологий и технических средств»*¹⁷. Согласно Стандарту ISO/IEC 2382-1, *«информационная система – система обработки информации, работающая совместно с организационными ресурсами, такими как люди, технические средства и финансовые ресурсы, которые обеспечивают и распределяют информацию»*¹⁸¹⁹. В ГОСТ 34.321-96 «Информационные технологии. Система стандартов по базам данных. Эталонная модель по базам данных» рассматривается следующее определение информационной системы: «система, которая организует хранение и манипулирование информацией о предметной области». Таким образом, информационная система является системой информационного обслуживания работников управленческих

¹⁷ Федеральный закон "Об информации, информационных технологиях и о защите информации"

¹⁸ ГОСТ 34.321-96 «Информационные технологии. Система стандартов по базам данных. Эталонная модель по базам данных»

¹⁹ ISO/IEC 2382-1:1993 Information technology – Vocabulary – Part 1: Fundamental terms

служб и выполняет технологические функции по накоплению, хранению, передаче, обработке и выдаче информации»³. Гиляревский Р.С. дает следующее определение информационной системы: «взаимосвязанная совокупность средств и методов, используемых для хранения, обработки и выдачи информации в интересах поставленной цели» [4]. Примерами выступают информационно-поисковые, экспертные, интеллектуальные, гипертекстовые системы²⁰.

Данные определения дают понятие об информационных системах в *широком смысле*. В *узком смысле* информационная система – это совокупность программных средств и продуктов, СУБД, баз данных, то есть некая система, предназначенная для автоматизации деятельности ее пользователей.

Информационные системы включают в себя:

- 1) государственные информационные системы,
- 2) муниципальные информационные системы,
- 3) иные информационные системы¹.

Классификация информационных систем. Информационные системы подлежат классификации по нескольким параметрам:

1. Сфера деятельности предприятия:
 - промышленность,
 - сфера обращения,
 - социальная сфера,
 - другие.
2. Функциональная структура информационной системы:
 - финансы,
 - планирование,
 - производство,
 - маркетинг,
 - материально-техническое обеспечение,
 - управление сбытом,
 - управление персоналом,
 - другие.
3. Организационная структура информационной системы:
 - автоматизированное рабочее место,
 - комплекс автоматизированных рабочих мест.
4. Степень интеграции информационной системы:
 - локальная,
 - частично интегрированная,
 - полностью интегрированная.
5. Границы информационной системы:

²⁰ Гиляревский Р.С. Информационная сфера: крат. энцикл. слов. / Гиляревский Р.С. – Санкт-Петербург: Профессия, 2016. – 304 с.

- предприятия,
- отрасли,
- государственная,
- международная.

6. Информационно-технологическая архитектура информационной системы:

- централизованной архитектуры,
- распределенной архитектуры.

7. Особенности процесса обработки информации:

- автоматизированные системы управления предприятия;
- системы обработки данных;
- системы автоматизации делопроизводства (системы электронного документооборота, СЭД);
- информационно-поисковые системы;
- справочно-правовые системы;
- системы поддержки принятия решения²¹.

Автоматизированные системы управления предприятием (АСУП) используют методы экономико-математического моделирования и позволяют осуществлять выбор оптимальных управленческих решений (табл. 7).

Таблица 7 – Примеры информационных систем

СОД	СЭД	ИПС	СПС	СППР
Automatic Business Modeler (ABM), AutoDiscovery, Automatic Statistician, Auto-Weka, Darwin, DataRobot, DataRPM, DMWay, dotData, RapidMiner	«Диалог», КСЭД 3.0, «СЭД-Сириус», «Эпюра», «Синкопа-документ», «Открытая модульная система электронного документооборота и контроля исполнения поручений», Directum, «СТЭК Документооборот», «Ред Платформа Документооборота», «Бюрократ», «СБИС», «1С:Документооборот 8»	Google, Яндекс, Yahoo!, Поиск@mail.ru, Bing, Nigma.ru, Live.Search, Рамблер, Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU, Web of Science, Scopus/ScienceDirect, Baidu, DuckDuckGo	«Консультант Плюс», «Гарант», «Кодекс»	Форсайт. Аналитическая платформа, Microsoft Power BI, Contour BI, Business Scanner, Visiology, QlikView, Visary BI, Loginom, Domo, Интеград Аналитика, Капитан Аналитика, BIPLANE24, Looker, Yandex DataLens, Tableau Public, Криста BI

²¹ Трофимов В. В., Ильина О. П. Информационные системы и технологии в экономике и управлении – М: Изд-во Юрайт, 2021. – 375 с.

Примерами систем обработки данных (СОД) выступают программы для формирования статистической и налоговой отчетности. Системы автоматизированного делопроизводства организуют поток документации между сотрудниками и отделами организаций и реализуются с помощью схем бизнес-процессов. Информационно-поисковые системы позволяют отыскивать необходимую пользователю информацию. Справочно-правовые системы – это экспертные системы. Системы поддержки принятия решения позволяют на основе искусственного интеллекта и аналитики данных моделировать и оценивать варианты управленческих решений.

4.11 Информационные системы управления предприятием

Система управления предприятием – это информационная система, содержащая информационные потоки в виде документов, распоряжений, запросов внутри организации, а также во взаимодействии со внешней средой.

Повышение конкурентоспособности предприятия – один из важных аспектов существования организации. Достижение высоких экономических результатов при оптимальных затратах – один из признаков эффективности функционирования компании. Прикладное решение в виде корпоративной информационной системы позволяет построить единое информационное пространство и управлять процессами комплексно, а также максимально автоматизировать информационную структуру. Процесс построения информационной системы предприятия – это комплексное решение методологических, технических и организационных задач.

Подход к системе предприятия предполагает наличие как специфических особенностей и деятельности организаций, так и общих черт, применимых к разным предприятиям и позволяющих унифицировать и стандартизировать многие процессы. В целях оптимизации типичных процессов возможно использование опыта других компаний. Так, применимы международные стандарты MRPII, ERP, CSRP, ISO 9000. Данные стандарты позволяют предприятию постоянно совершенствовать бизнес-модель и методы управления, стандартизировать бизнес-процессы, реализовывать стратегическое управление.

В своей деятельности предприятиям необходимо ориентироваться на системный подход к управлению, в том числе цепями поставок. Один из способов обеспечения системности – использование ERP-стандартов и систем.

ERP-стандарты включают следующие управленческие методики [7]:

1) MRP (Material Requirement Planning) – планирование потребности в материалах,

- 2) MRPII (Manufacturing Resource Planning) – планирование производственных ресурсов,
- 3) ERP (Enterprise Resource Planning) – планирование ресурсов предприятия,
- 4) CSRP (Customer Synchronized Resource Planning) – планирование ресурсов в зависимости от потребностей клиента²².

Данные стандарты постоянно уточняются и дополняются.

На современном этапе, в связи с невозможностью создания уникальной информационной системы под конкретное предприятие, на рынок выходят разнообразные корпоративные информационные системы (КИС) модульного типа: с возможностью надстроек функционала под конкретную организацию. Сюда же относятся и ERP-системы.

4.12 Эволюция ERP систем

Системы управления предприятием прошли эволюцию от систем ручного ведения учета материальных ценностей до современных автоматизированных информационных систем, включающих в себя управление всеми сферами организации.

Эволюцию ERP-систем можно представить следующей схемой (рис. 41).

Inventory Control Packages	MRP	MRP II	ERP	CSRP	ERP II	Облачное ERP
1960	1970	1980	1990	2000		2010

Рисунок 41 – Эволюция ERP-систем

В 1960-х годах, с началом компьютеризации, начали появляться так называемые «*пакеты управления запасами*» (*Inventory Control Packages*). В середине 60-х гг. появились такие термины, как «спецификация изделия» (Bill of Material, BOM, и Bill of Material Processing, BOMP), они обозначали системы обработки спецификаций изделий для расчета потребностей в материалах. В конце 1960-х – начале 1970-х гг., с развитием систем управления ресурсами, на рынок вышли первые *MRP-системы* (*Material Requirements Planning*), которые выполняли задачу планирования потребности в материалах на производственных предприятиях, а также позволяли минимизировать издержки, связанные с хранением складских запасов материалов.

Стандарт MRP широко использовался компаниями в отраслях автомобилестроения, судостроения, авиастроения. Это позволило снизить

²² Астапчук В.А. Корпоративные информационные системы: требования при проектировании: – М: Изд-во «Юрайт», 2020. – 113 с.

объем постоянных складских запасов, повысить эффективность производства, сократить сроки производства продукции.

Достоинствами систем MRP можно считать автоматизацию учета производственных запасов, оптимизацию планирования запасов, сокращение затрат на хранение. Однако существенный недостаток подобных систем – невозможность учитывать загрузку производственных мощностей, человеческие ресурсы, стоимость рабочей силы. Это и послужило толчком для появления стандарта *MRP II (Manufacturing Resource Planning)* – системы планирования производственных ресурсов. Данный стандарт появился в США, где был разработан по инициативе Американского общества по управлению производством и запасами.

Основное отличие MRP II в том – что операции планирования, учета и контроля производятся в течение всего жизненного цикла продукции, а также учет финансов и персонала.

На стыке 1960–1970 гг. возникла необходимость автоматизации всех управленческих процессов компании, в связи с чем была разработана концепция регулярного менеджмента, а объединенная с модулем финансового планирования FRP (Finance Requirements Planning) система MRP II трансформировалась в системы планирования ресурсов предприятия *ERP (Enterprise Resource Planning)*²³.

Концепция *ERP (Enterprise resource planning)* планирования ресурсов предприятия) введена аналитической компанией Gartner Group в начале 1990-х гг. Данная концепция использует комплекс интегрированных приложений и создает единую информационную среду предприятия, с целью автоматизации различных сфер деятельности и процессов организации, в том числе планирование бизнес-процессов, контроль реализации, анализ результатов деятельности.

Несмотря на специфику различных предприятий, методология ERP позволяет выделить ключевые общие задачи и предполагает наличие в системе следующих минимально необходимых блоков:

- бизнес-планирование (Business Planning, BP),
- планирование продаж (Sales and Operation Planning),
- планирование производства (Production Planning, PP),
- планирование материальных потребностей (Material Planning),
- управление цепочкой поставок (Supply Chain Management SCM),
- управление запасами (Inventory Control),
- управление затратами (Cost Control),

²³ Моргунов, А. Ф. Информационные технологии в менеджменте: учебник для среднего профессионального образования / А. Ф. Моргунов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2021. – 310 с.

– управление финансовыми методами (Financial Management)²⁴.

Рассмотренные методологии позволяют автоматизировать и оптимизировать внутренние процессы предприятия, однако в конце 1990-х гг. возникла необходимость также учитывать процессы со стороны клиентов. На рынке появляются первые программы стандарта *CSRP (Customer Synchronized Resource Planning)* – планирование ресурсов организации, синхронизированное с потребителем. Данные системы представляют ERP-системы с включенным модулем CRM – Customer Relationship Management – и позволяют управлять всем жизненным циклом продукта, от кастомизированного проектирования до послепродажного обслуживания. При коротком жизненном цикле продукта и быстро меняющихся запросах потребителей данная модель крайне удобна.

В 1996 г. Патрик Томпсон, директор ИТ-службы компании Turner Industries, США, стал родоначальником веб-интерфейса к корпоративной ERP-системе, который позволял клиентам получать информацию в реальном времени. В 1999 г. Компанией Gartner было объявлено о появлении нового стандарта – *ERP II (Enterprise Resource and Relationship Processing)* – *управление внутренними процессами и внешними связями компании*.

ERP II – это корпоративная информационная система, включающая в себя функционал ERP, CRM, SCM (Supply Chain Management), электронной коммерции, а также веб-интерфейс²⁵.

4.13 Классификация информационных систем управления предприятий по объекту применения

В настоящее время существует так называемая «пирамида компьютерной автоматизации», состоящая из 5 уровней. Верхние три уровня пирамиды относятся к информационной структуре управления предприятием: SCADA, MES, MRP и ERP (рис. 42).

²⁴ Рыжко, А. Л. Информационные системы управления производственной компанией: учебник для вузов / А. Л. Рыжко, А. И. Рыбников, Н. А. Рыжко. – Москва: Издательство Юрайт, 2020. – 354 с.

²⁵ Моргунов, А. Ф. Информационные технологии в менеджменте: учебник для среднего профессионального образования / А. Ф. Моргунов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2021. – 310 с.

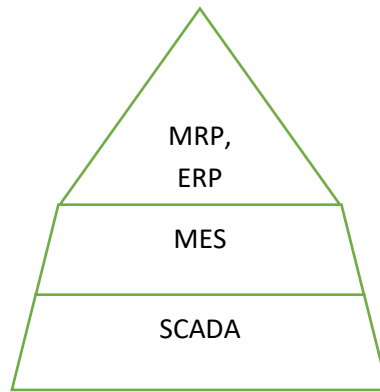


Рисунок 42 – Пирамида информационной структуры управления предприятием

Нижний уровень пирамиды – SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) – представляет собой контроллеры, управляющие компьютеры, контрольные системы DCS (Distributed Control Systems), человеко-машинные интерфейсы, которые позволяют контролировать управляемый процесс.

Средний уровень – MES (Manufacturing Execution System) – уровень управления технологическим процессом, на котором представлены программно-объединенные компьютеры и на котором иногда можно также встретить EAM – Enterprise Asset Management System.

Верхний уровень – офисного управления предприятием (MRP, ERP), здесь представлены системы, позволяющие осуществлять планирование ресурсов предприятия и располагать полной информацией о всех процессах организации.

Данное деление условно. Часто в системах класса MES присутствуют компоненты более низкого или более высокого уровня. Наряду с традиционными системами SCADA, MES, MRP и ERP, также встречаются системы LIMS (Laboratory Information Management System), PLM (Product Lifecycle Management), MIS (Management Information System) и EMI (Enterprise Manufacturing Intelligence).

LIMS (Laboratory Information Management System) – мировой стандарт в области автоматизации процессов в лабораториях, оптимизирует работу с лабораторными данными.

PLM (Product Lifecycle Management) – системы управления жизненным циклом продукта, начиная от проектирования и заканчивая постпродажным сервисом.

MIS (Management Information System) – информационная система управления, отвечает за общее управление организацией и может включать в себя ERP.

EMI (Enterprise Manufacturing Intelligence) – это системы сбора и визуального отображения информации с любого уровня управления для последующего анализа и построения различных форм отчетности²⁶.

Также можно рассмотреть следующую классификацию информационных систем управления предприятием:

ERP (Enterprise Resource Planning) – система планирования (управления) ресурсами предприятия.

CRM (Customer Relationship Management) – система, направленная на учет потребностей клиентов и используемая для эффективного маркетинга, продаж и обслуживания клиентов [54].

ECM (Enterprise Content Management) – система для поддержки единого жизненного цикла неструктурированной информации (контента) различных типов и форматов.

CPM (Corporate Performance Management) – концепция управления эффективностью бизнеса, решающая задачи в области стратегического и финансового управления компанией.

HRM (Human Resource Management) – система управления кадрами организации.

EAM (Enterprise Asset Management) – информационная система, предназначенная в основном для автоматизации процессов, связанных с техническим обслуживанием оборудования, его ремонтом, а также послепродажным обслуживанием этого оборудования [55].

EDMS (Electronic Document Management) – система управления документами предприятия.

Workflow (Business Process Management (BPM)) – система документооборота предприятия в комплексе, от простого поручения до конечных маршрутов и версий используемых документов.

Collaboration – система, отвечающая за электронное взаимодействие людей²⁷.

EAM (Enterprise Asset Management) – управление основными фондами предприятия. ЕАМ-система (Enterprise Asset Management System) – это система управления основными фондами предприятия. Используется для автоматизации бизнес-процессов, связанных с учетом, техническим обслуживанием и ремонтом основных фондов. ЕАМ дает возможность уменьшения простоя оборудования, сокращения затрат на техобслуживание, ремонты и материально-техническое снабжение. Является одной из компонент комплексных корпоративных систем [55].

²⁶ Olena Volot. Classification of Informational systems of accounting and management of enterprises by logistic concepts and steps integration // Проблеми і перспективи економіки та управління. – 2017. – № 4(12). – с. 176-181

²⁷ Классификация информационных систем предприятий. – URL: <https://fossdoc.com/ru/klassifikacija-informacionnyh-sistem> (дата обращения: 17.04.2021)

На практике ЕАМ-системы используются для решения основных управленческих задач:

- управление финансами,
- управление материально-техническим обеспечением,
- управление активами,
- управление кадрами.

Использование данных систем позволяет сократить расходы на производство и владение производственными фондами, а также увеличить их окупаемость, гарантировать безопасность производства.

ЕАМ-системы обладают следующими функциями:

- формирование базы имеющегося оборудования и базы знаний по его обслуживанию,
- контроль процессов обслуживания, ремонта,
- контроль затрат,
- передача информации в ERP-систему,
- планирование технического обслуживания и ремонтов оборудования,
- учет технологических подходов в работе оборудования,
- отчетность.

Данный тип систем особенно интересен компаниям, процент затрат которых на обслуживание и ремонт оборудования достаточно высок. В первую очередь, это компании нефтегазовой отрасли²⁸.

ЕАМ-концепция рассматривает производственный актив как элемент со своим жизненным циклом и способностью создавать положительный денежный поток. Системы данного типа позволяют оценивать производственные активы на предмет устаревания и необходимости модернизации, вести анализ затрат на обслуживание оборудования, формировать базу знаний об оборудовании и техническом обслуживании.

На рынке ПО представлены следующие системы ЕАМ (табл. 8).

Таблица 8 – Системы ЕАМ

№ п/п	Название системы	Вендор	Количество проектов внедрений, 2020 г.
1	1С: Предприятие 8. ТОИР Управление ремонтами и обслуживанием оборудования	1С Акционерное общество	221
2	Oracle E-Business Suite (OEBS)	Oracle	126
3	TRIM-PMS (Planned Maintenance System)	НПП СпецТек (Spectec)	90

²⁸ ЕАМ-система. – URL: <https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:ЕАМ-система> (дата обращения: 17.04.2021)

4	Галактика ТОРО	Корпорация Галактика	83
5	TRIM	НПП СпецТек (Spectec)	64
6	IBM Maximo	IBM	61
7	IFS Applications	IFS	46
8	SAP Business Suite	SAP SE	45
9	Infor EAM	Infor	43
10	Global-EAM	Бизнес Технологии	31

MES (Manufacturing Execution System) – оперативное управление производством. MES (Manufacturing Execution System) – это производственная исполнительная система, предназначенная для решения задач оперативного планирования и управления производством, таких как: синхронизация, координация, анализ и оптимизация выпуска продукции на определенном производстве. Благодаря использованию данного типа систем, предприятие имеет возможность повышать фондоотдачу оборудования и увеличивать прибыль организации.

Системы MES выполняют следующие функции:

- сбор информации о производстве,
- планирование,
- контроль качества продукции,
- управление оборудованием и ремонтом,
- отслеживание компонентов, сырья и полуфабрикатов,
- управление трудовыми ресурсами,
- электронный документооборот,
- оперативно-календарное планирование,
- диспетчеризация производственных процессов,
- связь между оборудованием и персоналом.

Данные функции являются оперативными и относятся к определенному участку работ, а не ко всему производству в целом.

В русском наименовании данный тип систем известен как АСОУП – система сбора, передачи, обработки и отображения информации о производственных процессах в реальном времени, для автоматизации производства. На рынке представлены следующие системы MES (табл. 9)²⁹.

²⁹Manufacturing Execution System Manufacturing Operations Management Управление производствами и ремонтами

Таблица 9 – Системы MES

№ п/п	Название системы	Вендор	Количество проектов внедрений, 2020 г.
1	PI System	OSIsoft	108
2	I-DS Система диспетчерского управления	ИндаСофт	89
3	SAP S/4HANA	SAP SE	43
4	I-DRMS Система расчета материальных балансов	ИндаСофт	34
5	ИнфоПро:Планирование режимов	ИнфоПро Группа компаний	30
6	Галактика АММ (Advanced Manufacturing Management)	Корпорация Галактика	16
7	1С:MES Оперативное управление производством	1С Акционерное общество	9
8	MCIS (Motion Control Information System)	Siemens AG (Сименс АГ)	9
9	Dia\$par	Ultimate Humanless Enterprises, Ultimate H.E. (Интеллектуальные управляющие системы предприятия)	9
10	Троникс (Tronix) КИС	Три Троникс Технолоджи (Tree Tronix Technology)	8

WMS (Warehouse Management System) – управление складами. WMS (Warehouse Management System) – это система складского менеджмента, или управления складами. Системы данного типа позволяют автоматизировать складские операции, минимизируя при этом человеческий фактор.

Архитектура WMS-систем сходна с архитектурой других автоматизированных систем и содержит блоки: интерфейс, база данных, блок бизнес-логики. Данные системы классифицируются в зависимости от масштабов и специфики предприятия:

- системы начального уровня,
- коробочные системы,
- адаптируемые системы,
- конфигурируемые системы.

Системы WMS выполняют следующие функции:

- автоматизация приемки товарно-материальных ценностей,
- автоматизация процессов складирования,
- гибкая система управления заказами,
- управление складскими запасами,
- управление складскими работниками,
- управление складским инвентарем, транспортом,

- автоматизация инвентаризаций.
- контроль остатков и адресное хранение.

Внедрение WMS-систем позволяет снизить расходы на складское хозяйство и заработную плату сотрудников склада, снизить количество ошибок, повысить эффективность складского учета³⁰. На рынке представлены следующие системы WMS (табл. 10)³¹.

Таблица 10 – Системы WMS

№ п/п	Название системы	Вендор	Количество проектов внедрений, 2020 г.
1	1C:WMS Логистика. Управление складом	Ситек (Ижевск)	211
2	GESTORI Pro	ФИТ (FIT)	122
3	Solvo.WMS	Солво (Solvo)	120
4	EME.WMS	EME	120
5	WMS Logistics Vision Suite	Mantis International	68
6	Sevco WMS	Sevco (Севко) СЧТ	67
7	SAP Extended Warehouse Management (SAP EWM)	SAP SE	61
8	Forecast NOW	Инжэниус Тим	60
9	PSIwms	PSI Logistics (ПСИ)	57
10	LEAD WMS	LogistiX (Логистикс-Тех)	56

CRM (Customer Relationship Management) – управление взаимоотношениями с клиентами. CRM (Customer Relationship Management) – система управления взаимодействием с клиентами. Одна из самых важных задач CRM-систем – увеличение продаж.

Данные, полученные о клиенте сотрудников компании, заносятся в систему CRM любым удобным ему способом. Также информацию о себе может разместить и сам клиент: например, при оформлении заказа через интернет-магазин. Система позволяет хранить эту информацию в удобном виде и производить экстраполяцию данных.

Основной принцип взаимодействия, который положен в основу использования CRM, это Клиент-Сервер. Пользователи получают доступ к информации, хранящейся в централизованной базе данных посредством web-браузера.

CRM-системы выполняют следующие функции:

- сбор и хранение информации о клиентах,

³⁰ WMS система. Эффективное управление складом

³¹ <https://www.tadviser.ru/index.php/WMS?cache=no&ptype=system#ttop>

- анализ данных о клиентах,
- размещение заказов,
- экспорт информации.

Спрос на системы CRM возрастает с каждым годом. На сегодняшний момент на российском рынке ПО представлены следующие компании, предлагающие CRM-системы (табл. 11)³².

Таблица 11 – системы CRM

№	Компания	Статус компании	Выручка от CRM-проектов в 2019 г., млн руб.
1	1С-Рарус	интегратор	811,9
2	Норбит (входит в ГК Ланит)	интегратор	807,0
3	GlowByte Consulting	интегратор	805,7
4	АмоCRM	вендор	766,3
5	Инфосистемы Джет	интегратор	575,2
6	Navicon	интегратор	272,0
7	Корус Консалтинг	интегратор	224,0
8	Новардис Консалтинг	интегратор	223,2
9	GMCS	интегратор	221,0
10	РосБизнесСофт	вендор	140,0
11	Монолит-Инфо	вендор	110,0
12	Первая форма	вендор и интегратор	33,7

SCM (Supply Chain Management) – управление цепочками поставок. SCM – системы управления цепями поставок на предприятии. Предназначены для автоматизации всех процессов, связанных со снабжением и товародвижением. Управление цепями поставок затрагивает основные направления деятельности предприятия, такие как: производство, поставки, месторасположение, запасы, транспортировка и информация. Термин SCM появился в 1988 году, был внедрен основателями американской компании i2 Сандживом Сидху (Sanjiv Sidhu) и Кеном Шарма (Ken Sharma). Системы типа SCM позволяют решать следующие задачи:

- повышение уровня обслуживания,
- оптимизация производственного цикла,
- снижение складских запасов,
- повышение производительности,
- повышение рентабельности,
- контроль производственного процесса.

Использование систем данного типа позволяет уменьшить стоимость и время обработки заказов, сократить издержки на закупки, сократить время

³² CRM (рынок России)

выхода на рынок, уменьшить складские запасы и производственные затраты, а также увеличить прибыль. На рынке SCM систем представлены следующие системы (табл. 12)³³.

Таблица 12 – Системы SCM

№ п/п	Название системы	Вендор	Количество проектов внедрений, 2020 г.
1	Visary (Визари АИС)	БизнесАвтоматика НПЦ	101
2	Forecast NOW Программа для прогнозирования спроса и управления товарными запасами	Инжэниус Тим	60
3	Infor SCM WM v.3.x (Exceed 4000)	Infor	44
4	Наполеон АСМТ	Гильдия разработчиков	33
5	АЦК-Государственный/Муниципальный заказ (АЦК-Госзаказ)	Бюджетные и Финансовые Технологии (БФТ)	27
6	ABM Inventory	ABM Cloud	27
7	ERP Монолит	Монолит-Инфо	24
8	B2B-Center: Мои поставщики	B2B-Center (Центр развития экономики)	19
9	Астор: RS.WMS Распределительный центр	Астор	19
10	Госзакупки (ETC)	Единые Торговые Системы (ETC)	19

CMMS (Computerized Maintenance Management System) – системы компьютерного управления обслуживанием оборудования, состоящие из базы данных оборудования предприятия, модулей планирования выполнения технического обслуживания и планово-предупредительного ремонта, составлений заявок на выполнение ремонта, компонентов складского учета и заявок на покупку материалов.

Системы CMMS выполняют следующие функции [53]:

- создание базы данных оборудования основных фондов;
- данные о необходимых запчастях и ремонтном персонале;
- проработка заявок на закупку деталей;
- календарное планирование технического обслуживания и ремонтов;
- составление и хранение информации о расходах и происшествиях на предприятии;
- составление стандартных и полных отчетов о ремонтах и обслуживании оборудования.

Системы CMMS предназначены для автоматизации процессов в пределах планово-предупредительного обслуживания и ремонтов

³³ Supply Chain Management

оборудования, однако путем надстраивания компонентов, функционал системы CMMS может быть расширен до EAM³⁴.

Рынок отечественных систем CMMS находится еще в начале своего развития и характеризуется небольшим присутствием игроков. Среди известных программ данного типа: NERPA EAM от Новософт, Seascope от Си Проект, КСУТО от Шифтапп, AMOS Maintenance and Procurement от СпеcТес, 1С:ТОиР от Деснол Софт, CalemEAM от CalemEAM, openMAINT от Тесnotеса, TRIM от СпецТек.

HRM (Human Resource Management) – системы управления персоналом. Современные интегрированные HRM-системы содержат шесть основных функциональных блоков, которые отвечают за расчет заработной платы, учет сотрудников, рекрутинг, управление талантами, управление эффективностью и обучением, а также взаимодействие пользователей с системой [46].

Системы HRM принято классифицировать, в зависимости от уровня автоматизации процессов:

- автоматизация расчета зарплаты – системы первого уровня,
- автоматизация кадрового учета – системы второго уровня,
- автоматизация управления трудовыми ресурсами – системы третьего уровня.

Часто программы данного типа работают с не формализуемыми или трудно формализуемыми данными.

Лидерами на рынке облачных HCM-решений для крупных компаний считаются компании Workday, Ultimate Software, Oracle и SAP (по данным агентства Gartner).

На рынке HRM систем представлены следующие системы (табл. 13)³⁵.

Таблица 13 – Системы HRM

№ п/п	Название системы	Вендор	Проектов внедрений, 2020 г.
1	1С:Зарплата и управление персоналом 8	1С Акционерное общество	856
2	Компас: Управление персоналом	Компас	364
3	Галактика ERP: Контур управления персоналом	Корпорация Галактика	344
4	SAP ERP HCM	SAP SE	174
5	Directum RX	Directum (Директум)	249
6	БОСС-Кадровик	БОСС. Кадровые системы	198

³⁴ CMMS Computerized Maintenance Management System Системы компьютерного управления обслуживанием оборудования

³⁵ Системы управления персоналом Human Resource Management – URL: <https://www.tadviser.ru/index.php/HRM?cache=no&ptype=system#ttop> (дата обращения: 25.04.2021).

7	1С:Зарплата и кадры бюджетного учреждения 8	1С Акционерное общество	95
8	WebTutor	WebSoft (ВебСофт Девелопмент)	84
9	Кадры (ЭОС)	Электронные офисные системы (ЭОС)	76
10	SAP SuccessFactors HCM	SAP SE	64

4.14 Особенности применения CRM и ERP систем в различных отраслях экономики

Предприятия разного типа и размера используют в своей работе различные CRM и ERP системы, отличающиеся по масштабу и выполняемым функциям. Так, небольшие отечественные предприятия ограничиваются учетными функциями и используют локальные информационные системы. Подобные программы могут быть созданы специально под нужды компании, а программной средой разработки в этом случае может выступать СУБД реляционного типа (например, MS Access). Примером этого подхода также может служить использование типовых конфигураций, разработанных компанией. При этом часто небольшие компании, являющиеся представительствами более крупных иностранных игроков, используют единую корпоративную систему, например, ERP-систему SAP.

Средние и крупные предприятия предпочитают использовать в деятельности информационные системы в сфере менеджмента и маркетинга, на основе которых строится стратегия развития и управления предприятием.

Ключевые отрасли, в которых применяются системы EAM, – энергетика, нефтегазовая отрасль, металлургия, производство, телеком, госсектор, здравоохранение. Это производственные предприятия с разнородными активами, которыми трудно управлять без специализированных информационных систем.

WMS-системы все шире используются не только крупными логистическими центрами, но и компаниями с достаточно небольшими масштабами деятельности (магазин с ограниченным ассортиментом, небольшие торгово-производственные компании).

CRM-системы распространены в таких областях, как:

- банки,
- крупные торговые компании,
- средние и малые торговые компании,
- туроператоры,
- телеком провайдеры,
- компании, предоставляющие бизнес-услуги,

- поставщики оборудования,
- страховые компании,
- фармацевтические компании,
- производства,
- компании сектора FMCG (производство и дистрибуция товаров массового спроса),
- СМИ,
- ИТ-компании.

HRM системы чаще всего реализуются в торговле и сфере финансовых услуг – 13% и 9% соответственно. На строительную отрасль приходится порядка 8%, 6% – на машиностроительные предприятия³⁶.

³⁶ Tadviser. Государство. Бизнес. IT.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ ПО РАЗДЕЛУ 4

10) Назовите основные черты цифровой экономики. В чем ее отличие от экономики знаний и индустриальной экономики?

11) Что такое платформа цифровой экономики? Какие условия необходимы для создания платформ на разных уровнях взаимодействия акторов экономической деятельности?

12) Что такое цифровая экосистема? Какие преимущества она дает для участников рыночных взаимоотношений?

13) Назовите наиболее перспективные бизнес-модели для условий цифровой экономики.

14) Какие организации (компании) имеют наибольший потенциал трансформации бизнес-модели при переходе к цифровой экономике?

15) Как изменяется модель цепочки добавления ценности в условиях цифровой трансформации?

16) Вспомните основные блоки шаблона бизнес-модели по А. Остервальдеру.

17) В чем принципиальное различие между понятиями «оцифровка», «автоматизация», «цифровизация» и «цифровая трансформация»?

18) Что такое «Информационная система управления» (ИСУ)? Какие преимущества возникают при использовании ИСУ?

19) Какие нормативные акты регулируют использование ИСУ на предприятиях в Российской Федерации?

20) По каким параметрам можно классифицировать ИСУ? Приведите примеры ИСУ разного типа.

21) Сопоставьте отрасли экономики и распространение различных типов ИСУ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Учебники, учебные пособия, монографии, энциклопедии

1. Астапчук В.А., Терещенко П.В. Корпоративные информационные системы: требования при проектировании – М: Изд-во «Юрайт», 2020. – 113 с.
2. Гассман О., Шик М., Франкенбергер К. Бизнес-модели: 55 лучших шаблонов. Изд-во «Альпина Диджитал». – 2014. – 334 с.
3. Гиляревский Р.С. Информационная сфера – СПб: Изд-во «Профессия», 2016. – 304 с.
4. Головицына М.В. Проектирование радиоэлектронных средств на основе современных информационных технологий – М.: Интернет-Университет Информационных технологий: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 503 с.
5. Кешелава А.В., Буданов В.Г., Румянцев В.Ю. и др. Введение в «Цифровую» экономику / А.В. Кешелава – Изд-во ВНИИГеосистем, 2017. – 28 с.
6. Компьютерный инжиниринг: учеб. пособие / А. И. Боровков [и др.]. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 93 с.
7. Моргунов А.Ф. Информационные технологии в менеджменте – М: Изд-тво «Юрайт», 2021. – 310 с.
8. Рыжко А.Л, Рыбников А.И., Рыжко Н.А. Информационные системы управления производственной компанией – М: Изд-во «Юрайт», 2020. – 354 с.
9. Современные аспекты маркетинга / В.А. Дуболазова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 439 с.
10. Трофимов В.В., Ильина О.П. Информационные системы и технологии в экономике и управлении / В.В. Трофимов. – М: Из-во «Юрайт», 2021. – 375 с.
11. Чудинов И.Л. Информационные системы и технологии: учебное пособие / И.Л. Чудинов, В.В. Осипова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 145 с.

Законы, подзаконные акты, нормативно-правовые акты

12. ГОСТ 34.321-96 «Информационные технологии. Система стандартов по базам данных. Эталонная модель по базам данных». Дата введения 01.07.2001. [электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200017662>
13. Федеральный закон «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» от 27.07.2006 N 149-ФЗ.

[электронный ресурс] URL:
http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61798/
14. ISO/IEC 2382-1:1993 Information technology – Vocabulary – Part 1: Fundamental terms. [электронный ресурс] URL:
<https://www.iso.org/ru/standard/7229.html>

Статьи в журналах, материалы конференций, тезисы докладов

15. Березина А.А. Тенденции и изменения цифровой экономики // В сборнике «Цифровая экономика: проблемы и перспективы развития». Материалы Межрегиональной научно-практической конференции. – 2019. – С. 77-81

16. Боровков А.И. Новая парадигма. Цифровые двойники – стратегия инновационного прорыва в ОПК // Новый оборонный заказ. Стратегии. – 2020. – № 4 (63). – С. 45-53

17. Волкова А.А., Плотников В.А., Рукинов М.В. Цифровая экономика: сущность явления, проблемы и риски формирования и развития // Управленческое консультирование. – № 4. – 2019. – С. 38-49

18. Воробей С.В., Воробей С.С., Лезин А.Л. К вопросу о развитии «сквозной» цифровой технологии – «квантовые технологии» // В сборнике «Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «АСУ, Информационно-телекоммуникационные системы». – 2019. – С. 288-291

19. Галеева В.Р. Роль и место цифровизации в экономическом развитии // Московский экономический журнал. – 2019. – № 13. – С. 225-232.

20. Запороцкова И.В. Нанотехнологии и наноматериалы: научные, экономические и политические реалии нового века // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. – 2015. – № 1 (30). – С. 18-29

21. Колыбельников А.И. Обзор технологий беспроводных сетей // Труды Московского физико-технического института. – 2012. – № 2, Т. 4. – С. 3-29

22. Морозова Т.О. Мировые тренды и цифровые технологии развития промышленности // В сборнике «Актуальные проблемы развития хозяйствующих субъектов, территорий и систем регионального и муниципального управления». Материалы XV международной научно-практической конференции. – 2020. – С. 255-258

23. Новак А.В. Технологии успеха // Энергетическая политика. – 2020. – № 7 (149). – С. 6-15

24. Пушкина О.В., Молоков Я.П. Влияние IoT (интернет вещей) и индустрии 4.0 на процессы снижения затрат и повышение эффективности

производства // Вестник московского университета им. С.Ю. Витте. Серия 1: экономика и управление. – 2020. – № 4 (35). – С. 87-92

25. Сафарли Низами Эльмар Оглы Смарт-контракт: понятие, правовая природа, особенности заключения и исполнения // Legal Concept. – 2019. – № 4, Т. 18. – С. 54-60

26. Соколова Т.Н., Волошин И.П., Петрунин И.А. Преимущества и недостатки технологии блокчейн // Экономическая безопасность и качество. – 2019. – № 1 (34). – С. 49-52

27. Olena Volot. Classification of Informational systems of accounting and management of enterprises by logistic concepts and steps integration // Проблеми і перспективи економіки та управління. – 2017. – № 4(12). – С. 176-181

28. Nagel W.E., Resch M.M., Kröner D.B. Transactions of the High Performance Computing Center // High Performance Computing in Science and Engineering 11. Stuttgart (HLRS). – 2011. – P. 649

29. Fabrice Herve, Armin Schwienbacher Crowdfunding and Innovation // Journal of Economic Surveys. – 2018. – p. 11-28

Интернет-ресурсы

30. Архитектура фабрик будущего [электронный ресурс]. URL: <https://topuch.ru/lekciya-2-arhitektura-fabrik-budushego-cifrovaya-umnaya/index.html>

31. Блокчейн и распределенная база данных [электронный ресурс]. URL: <https://conspi.ru/raznoe-2/blokchejn-raspredelennaya-baza-dannyx-blokchejn-i-raspredelennaya-baza-dannyx.html>

32. Гонка вычислений. Мировая [электронный ресурс]. URL: <https://rg.ru/2021/03/02/pochemu-v-top-500-poka-vhodiut-tolko-dva-otechestvennyh-superkompiutera.html>

33. Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Нейротехнологии и искусственный интеллект» [электронный ресурс]. URL: <https://digital.gov.ru/ru/documents/6658/>

34. Кванты на пороге лаборатории [электронный ресурс]. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4110064>

35. Классификация информационных систем предприятий. [электронный ресурс]. URL: <https://fossdoc.com/ru/klassifikacija-informacionnyh-sistem>

36. Метаматериалы или дилемма невидимости [электронный ресурс]. URL: <https://works.doklad.ru/view/88DIYoE9XFI.html>

37. Мировые тренды в развитии цифровой промышленности [электронный ресурс]. URL: <https://ppt-online.org/917459>

38. Моделирование методом послойного наплавления (FDM) [электронный ресурс]. URL: https://3dtoday.ru/wiki/FDM_print

39. Найдены новые жаропрочные суперсплавы [электронный ресурс]. URL: http://businesspress.ru/newspaper/article_mId_37_aId_377979.html

40. Опубликовано дорожные карты по сквозным технологиям – на их реализацию потребуется больше 850 млрд руб. [электронный ресурс]. URL: <https://d-russia.ru/opublikovany-dorozhnye-karty-po-skvoznym-tehnologiyam-na-ih-realizatsiyu-potrebuetsya-bolshe-850-mlrd-rub.html>

41. Основные сведения о композитах [электронный ресурс]. URL: <https://ppt-online.org/250716>

42. Применение машинного обучения для поиска аномалий сетевого трафика с целью выявления и предупреждений инцидентов информационной безопасности [электронный ресурс]. URL: <https://coggle.it/diagram/применение-машинного-инцидентов-информационной-безопасности>

43. Промышленные революции [электронный ресурс]. URL: <http://topuch.ru>

44. Развитие суперкомпьютерных технологий в Казахстане [электронный ресурс]. URL: <https://profit.kz/articles/1256/Razvitie-superkomputernih-tehnologij-v-Kazahstane/>

45. Разработка методического инструментария интеграции информационных систем и технологий организации наукоемкого производства [электронный ресурс]. URL: <https://workspay.ru/work/73693/>

46. Российские ученые обновили мировой рекорд в области квантовой криптографии [электронный ресурс]. URL: <https://scientificrussia.ru/articles/rossijskie-uchenye-obnovili-mirovoj-rekord-v-oblasti-kvantovoj-kriptografii>

47. Системы управления персоналом. Human Resource Management [электронный ресурс]. URL: <https://www.tadviser.ru/index.php/HRM?cache=no&ptype=system#ttop>

48. Статистика: область применения. [электронный ресурс] URL: <http://top50.supercomputers.ru/stats/area>

49. Ты – мне, я – тебе [электронный ресурс] URL: <https://lektsii.org/10-279.html>

50. Умные очки [электронный ресурс] URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Умные_очки

51. Цифровые экосистемы Москвы. Исследование. [электронный ресурс]. URL: <https://ict.moscow/projects/ecosystems/>

52. Что такое искусственный интеллект (ИИ): определение понятия простыми словами [электронный ресурс]. URL: <https://theoryandpractice.ru/posts/17550-chto-takoe-iskusstvennyy-intellekt-ii-opredelenie-ponyatiya-prostyimi-slovami>

53. CAD Systems [электронный ресурс]. URL: <https://cadcamtutorials.ru/articles/cnc5>

54. CMMS – Computerized Maintenance Management System. Системы

компьютерного управления обслуживанием оборудования [электронный ресурс]. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:CMMS_Системы_компьютерного_управления_обслуживанием_оборудования

55. CRM (рынок России) [электронный ресурс]. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:CRM_\(рынок_России\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:CRM_(рынок_России))

56. EAM-система. [электронный ресурс]. URL: <https://www.tadviser.ru/index.php>

57. Global Manufacturing – Teaching Objectives [электронный ресурс]. URL: <https://ykoren.engin.umich.edu/education/global-manufacturing/>

58. Manufacturing Execution System Manufacturing Operations Management. Управление производствами и ремонтами. [электронный ресурс]. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/MES_-_Управление_производствами_и_ремонтами?cache=no&ptype=system#ttop

59. Product Lifecycle Management. Управление жизненным циклом изделия [электронный ресурс]. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/PLM_-_Управление_жизненным_циклом_изделия

60. TOP500 list statistics [электронный ресурс]. URL: <https://www.top500.org/statistics/list/>

61. Supply Chain Management. Системы управления цепями поставок [электронный ресурс]. URL: <https://www.tadviser.ru/index.php/SCM?cache=no&ptype=system#ttop>

62. Software Development Kit (SDK) [электронный ресурс]. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:SDK_и_DDK

63. Warehouse Management System. Системы управления складом [электронный ресурс]. URL: <https://www.tadviser.ru/index.php/WMS?cache=no&ptype=system#ttop>

64. WMS система. Эффективное управление складом. [электронный ресурс]. URL: <https://spb.1cbit.ru/blog/wms-sistema-effektivnoe-upravlenie-skladom>

Бурцев Даниил Сергеевич
Гаврилюк Елена Сергеевна
Изотова Анна Гиевна
Лебедева Анна Сергеевна
Леонтьева Ирина Николаевна
Литвинова Наталья Александровна
Кан Елена Николаевна
Сатторов Фаррух Эътиборович

Инфраструктура и ресурсное обеспечение цифровой экономики

Учебное пособие

В авторской редакции
Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО
Зав. РИОН.Ф. Гусарова
Подписано к печати
Заказ №
Тираж
Отпечатано на ризографе

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