

Лекция 4. Технологический базис промышленного интернета

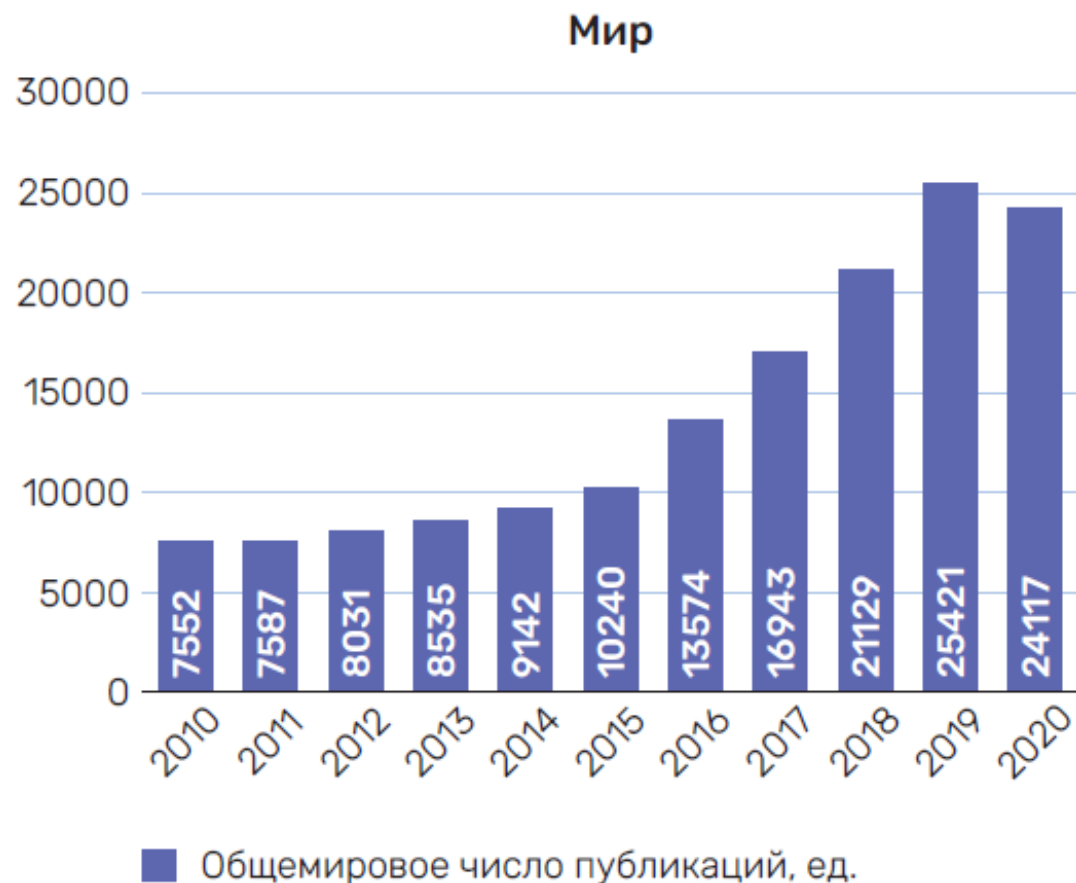
Д.т.н., профессор Гусева А.И.

2025 г.

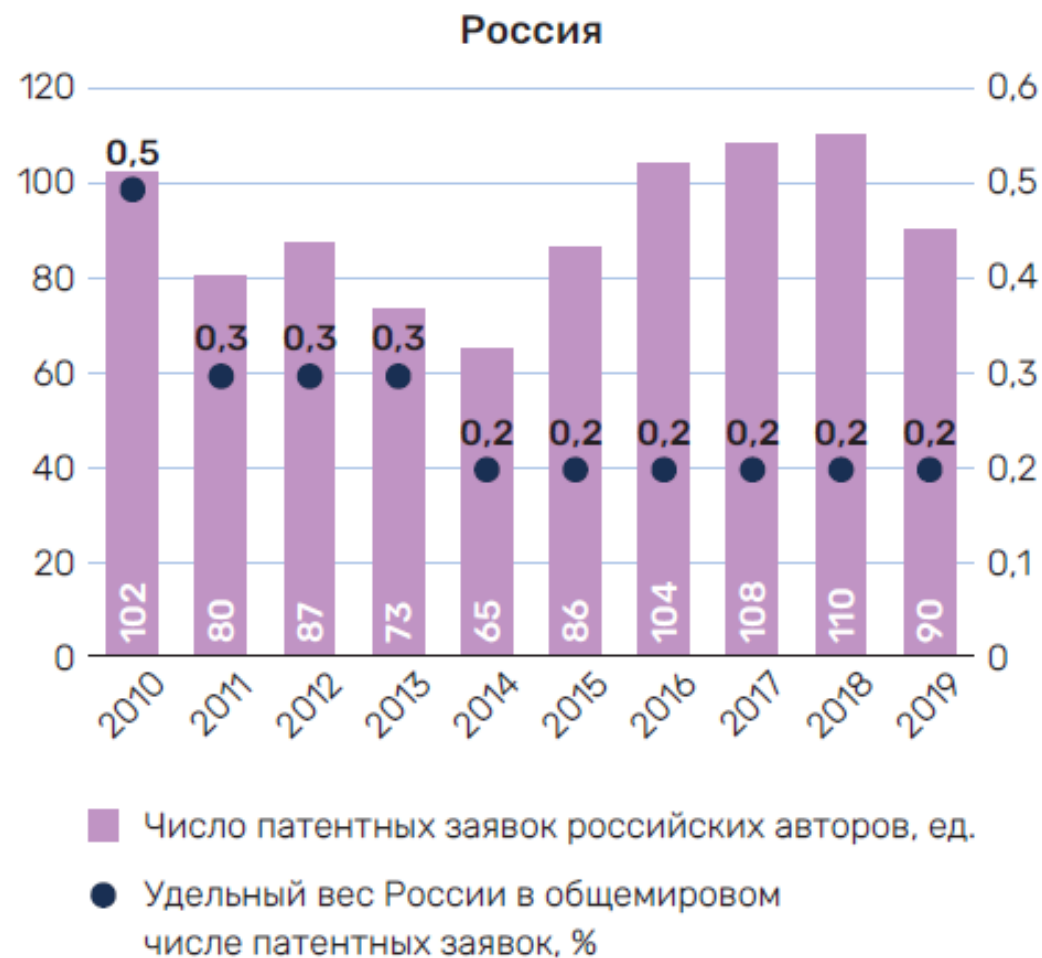
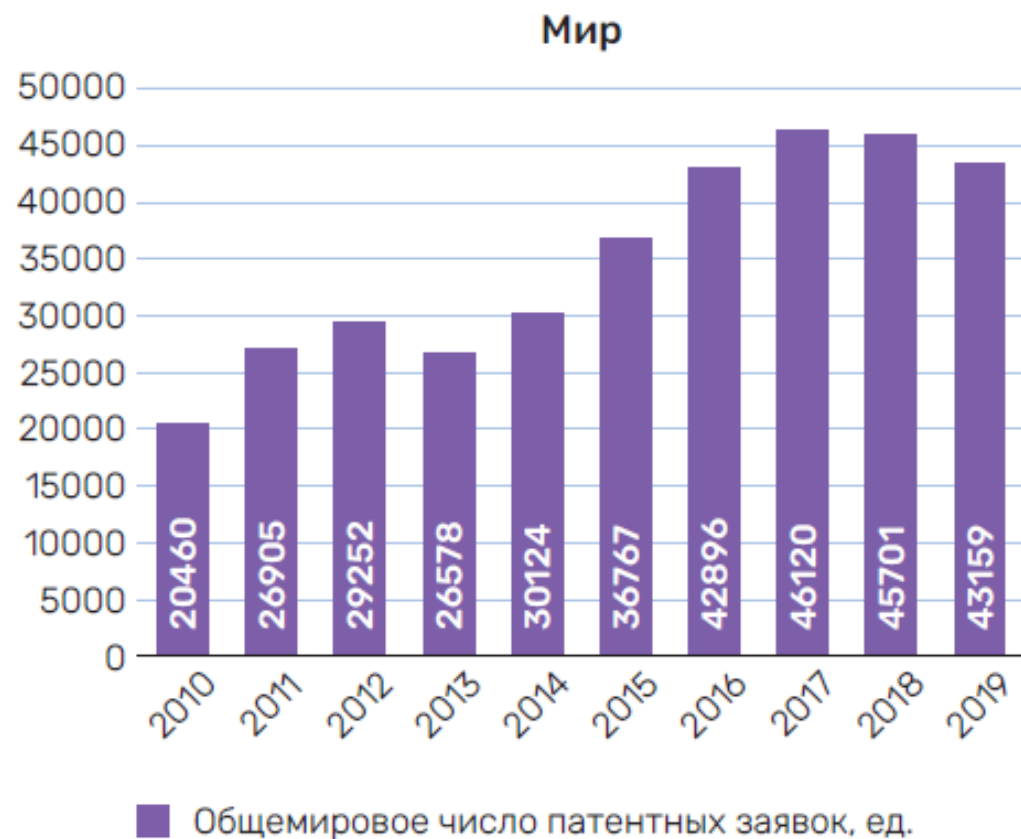
Интернет вещей и Промышленный интернет

- **Интернет вещей (Internet of Things, IoT)** — это множество физических объектов, подключенных к интернету и обменивающихся данными. Концепция IoT может существенно улучшить многие сферы нашей жизни и помочь нам в создании более удобного, умного и безопасного мир
- Термин **«Интернет вещей»** был впервые употреблен в 1999 году Кевином Эштоном, предпринимателем и соучредителем центра Auto-ID Labs (независимая сеть лабораторий и исследовательская группа в области сетевой радиочастотной идентификации и новых сенсорных технологий) при Массачусетском технологическом институте. Эштон состоял в команде, которая сумела изобрести способ подключения объектов к интернету с при помощи технологии RFID
- **Промышленный Интернет вещей (Industrial Internet of Things, IIoT)** — это система объединенных компьютерных сетей и подключенных к ним промышленных (производственных) объектов со встроенными датчиками и программным обеспечением для сбора и обмена данными, с возможностью удаленного контроля и управления в автоматизированном режиме, без участия человека

Ключевые показатели публикационной активности



Ключевые показатели патентной активности



Основные показатели публикационной и патентной активности по группам технологий

		Научные публикации				Патентные заявки		
		Мир	Россия	Доля России, %		Мир	Россия	Доля России, %
Технологии построения сетей связи	2020	11181	177	1,6	2019	28668	45	0,2
	2015	7307	41	↑	2015	29448	43	↑
	2010	7137	16	0,2	2010	16242	52	0,3
Протоколы и стандарты передачи данных	2020	667	12	1,8	2019	3271	10	0,3
	2015	270	4	↑	2015	2128	3	↑
	2010	128	0	0	2010	1857	1	0,1
Кибербезопасность	2020	2715	37	1,4	2019	6003	4	0,1
	2015	410	5	↑	2015	2203	0	↑
	2010	45	0	0	2010	251	0	0
Оборудование для обеспечения взаимодействия	2020	2352	46	2,0	2019	9404	35	0,4
	2015	606	4	↑	2015	4923	40	↑
	2010	117	2	1,7	2010	2555	50	2,0
Оконечные устройства	2020	7555	68	0,9	2019	3721	1	0,03
	2015	1872	15	↑	2015	1690	0	↑
	2010	169	0	0	2010	134	0	0
IoT-платформы	2020	4638	89	1,9	2019	10391	4	0,04
	2015	882	7	↑	2015	3258	1	↑
	2010	48	0	0	2010	331	0	0

Кривая технологической зрелости



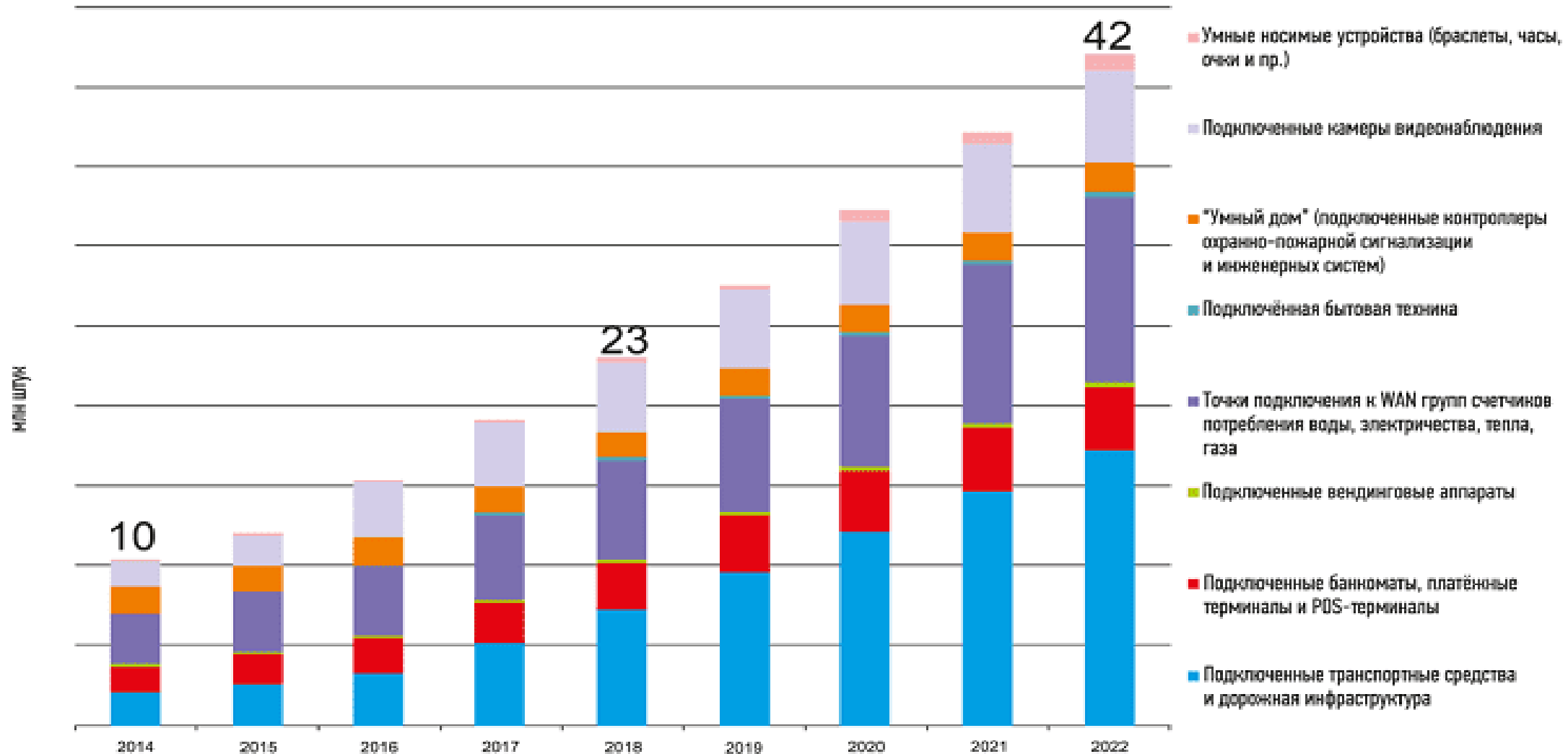
Мировой рынок Интернета вещей

- Содержит три ключевые продуктовые линейки: отраслевые платформы, аппаратные и программные системы передачи данных, устройства и приложения для различных отраслей
- К первой группе относятся платформы, объединяющие различные технологии для определенной сферы применения. В 2020 г. этот сегмент достиг отметки в 216 млрд долл., а к 2028 г., по прогнозам, увеличится более чем в 5 раз – до 1,11 трлн долл. Среди них наибольший объем рынка на текущий момент занимает промышленный интернет, который сохранит лидерские позиции и в ближайшей перспективе. В ближайшие семь лет мировой рынок промышленного интернета вещей будет расти со среднегодовым темпом роста 16,7% и в 2027 году его объем достигнет \$263,4 млрд.
- В линейке аппаратных и программных систем представлены такие компании, как Infineon Technologies, Texas Instruments, Analog Devices, Qualcomm, STMicroelectronics¹⁹. Большинство из них занимаются разработкой трансиверов, сенсоров и устройств, с ними связанных. Рынок трансиверов на горизонте до 2024 г. составит 18,5 млрд долл., ожидается ежегодный прирост более чем на 10%. Рынок сенсоров Интернета вещей к 2026 г. составит 29,6 млрд долл.
- На рынке устройств и приложений для отраслей представлено множество решений. В число компаний-лидеров входят Dell, Advantech, Apple, Aeris Communication, HTC²²

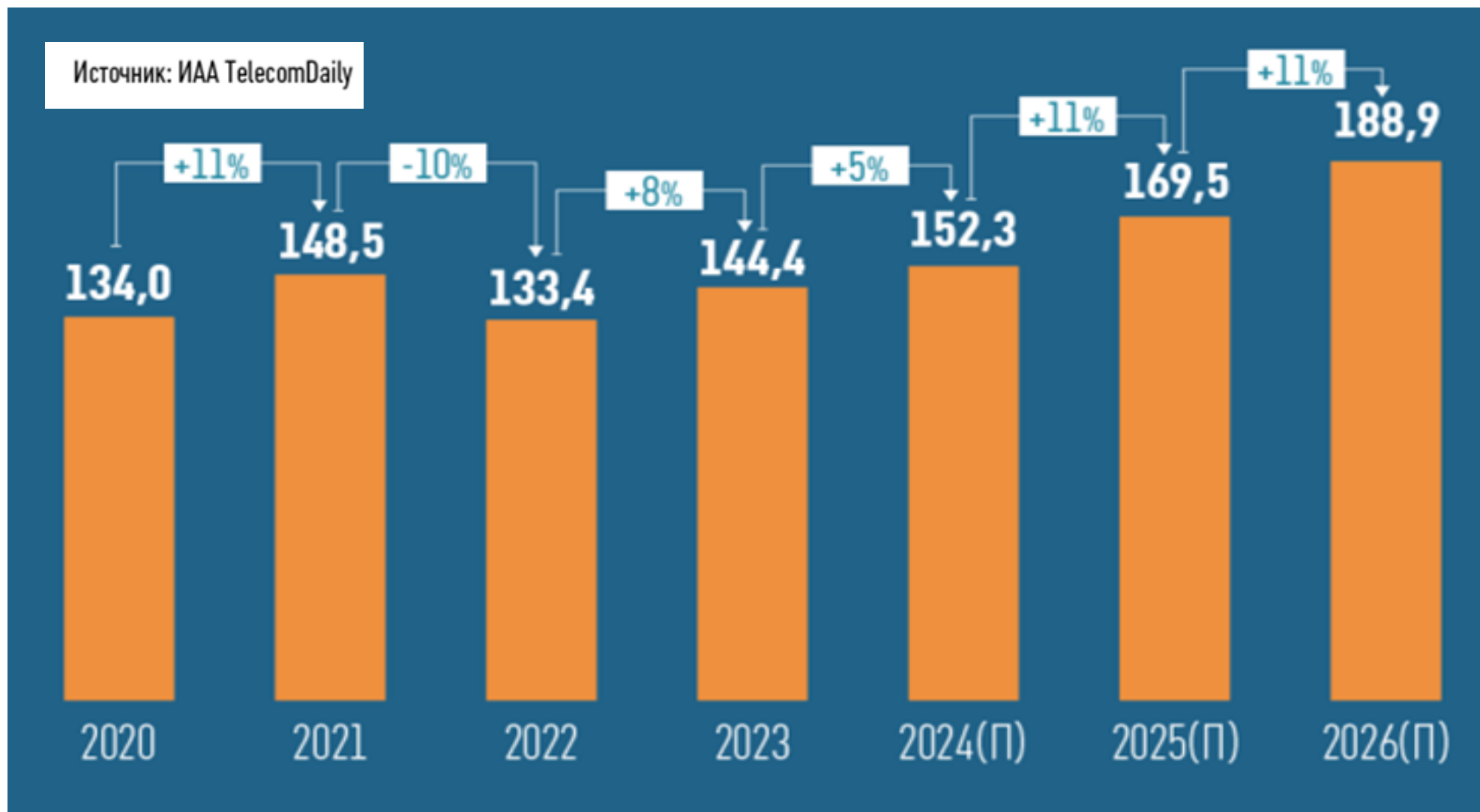
Мировой рынок Интернета вещей

- **Достижения в области беспроводных технологий:** развитие в сфере внедрения Сети 5G и обновления технологий WiFi. Более 300 миллионов подключений 5G были активными во всем мире в 2023 году, по прогнозам, превысят 1 миллиард за 2025 г.
- **Растущий спрос на автоматизацию и Аналитика данных:** предсказывается CAGR 25% с 2023 г. по 2028 г. Тренд – востребованность граничных вычислений
- **Потребительское принятие интеллектуальных устройств:** около \$90 млрд в 2023 г. , прогнозируется рост до \$160 млрд к 2026
- **Государственные инициативы и инвестиции:** «Умные города», цифровая трансформация и т.д.

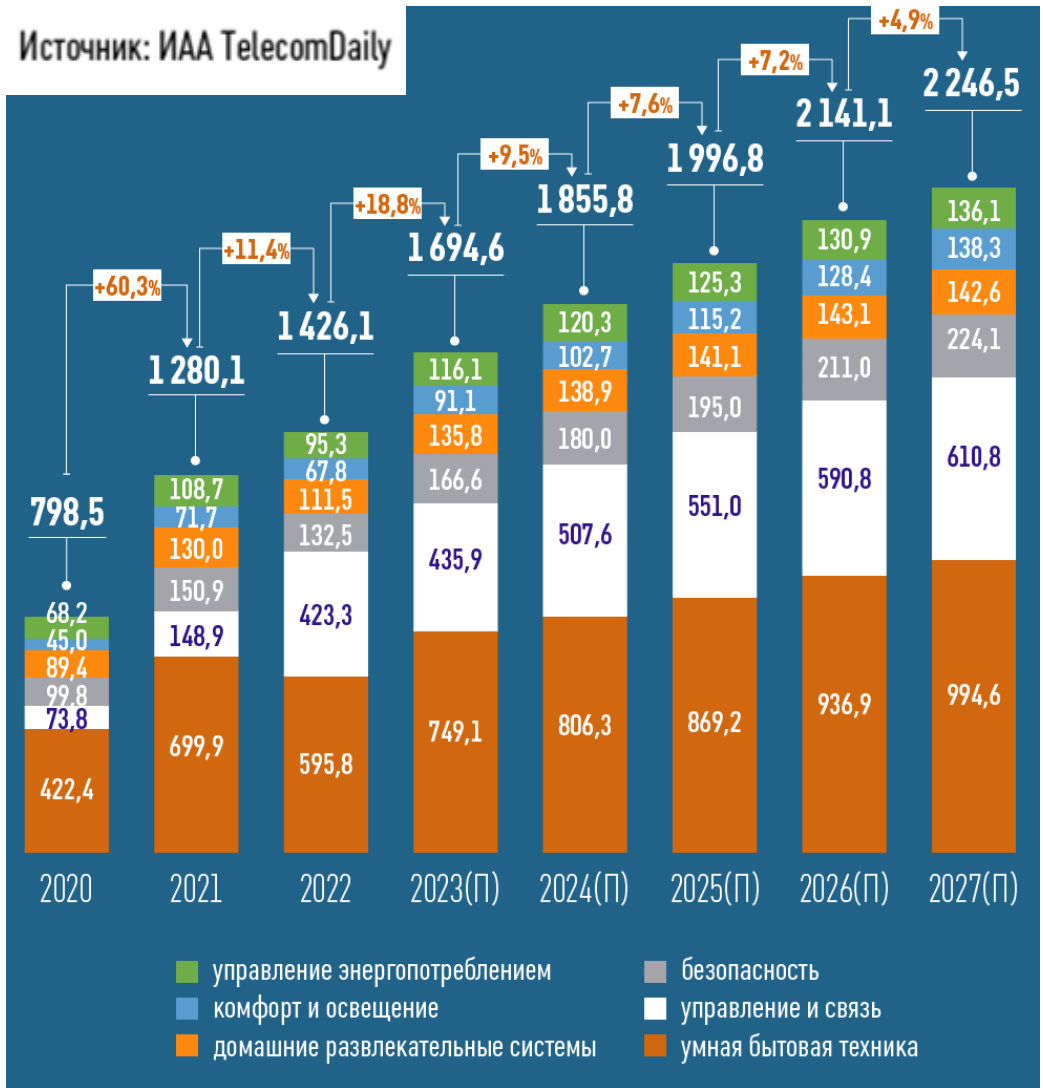
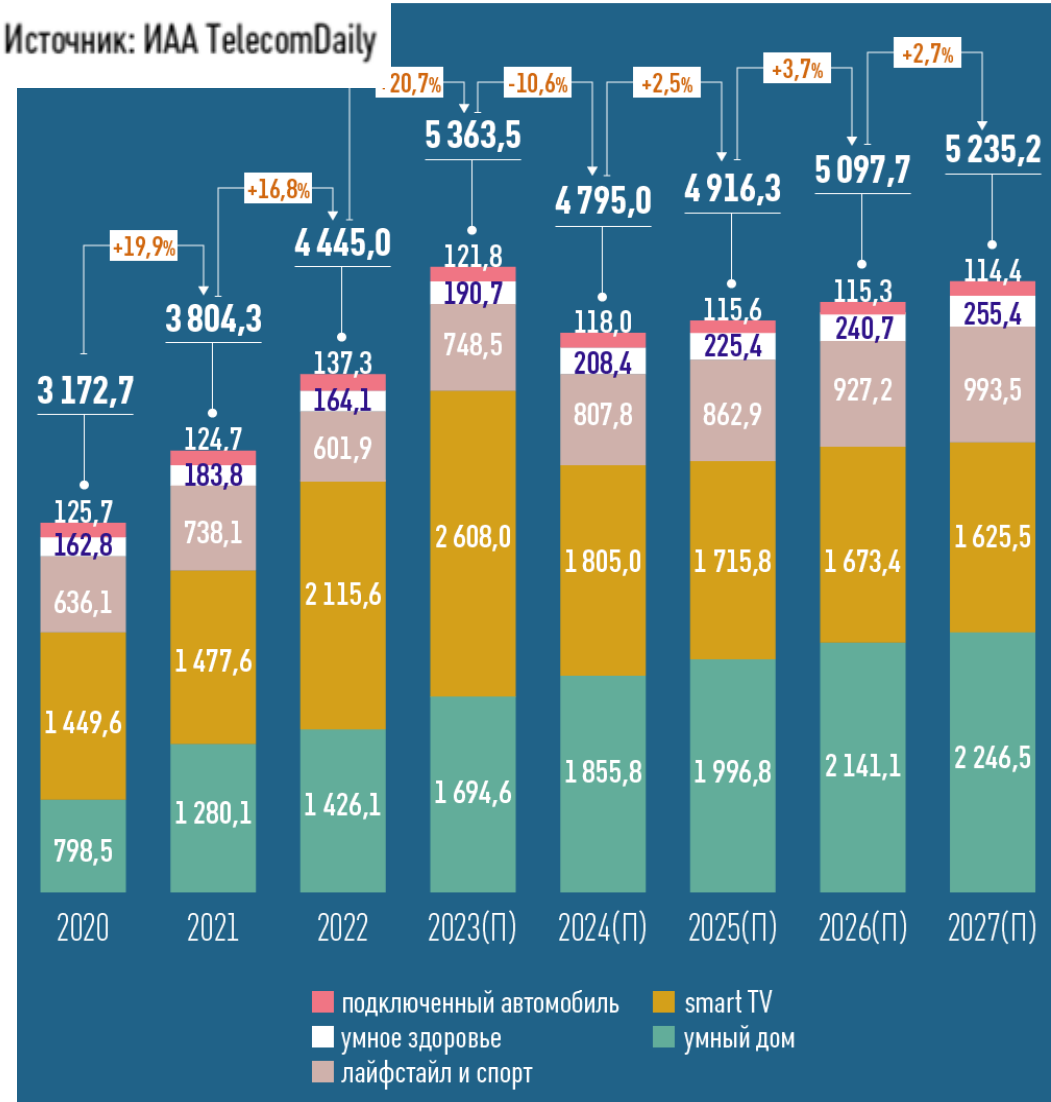
Российский рынок Интернета вещей: текущее положение по отраслям и прогнозы аналитиков



Объем российского рынка промышленного Интернета, млрд рублей



Объем российского рынка потребительского Интернета вещей и «Умного дома», млн \$



Технологический базис Промышленного интернета

Приложения

- Энергетика
 - Производство
 - Строительство
 - Здравоохранение
- Добыча полезных ископаемых
 - Транспорт
 - Торговля
 - Финансы

Платформа Промышленного
интернета

- Управление устройствами (АСУ ТП, SCADA)
- Инструменты интеллектуального анализа данных
- Средства сбора и хранения данных

Среда передачи данных

- Фиксированная связь, спутниковая связь, мобильная связь

Среда сбора данных

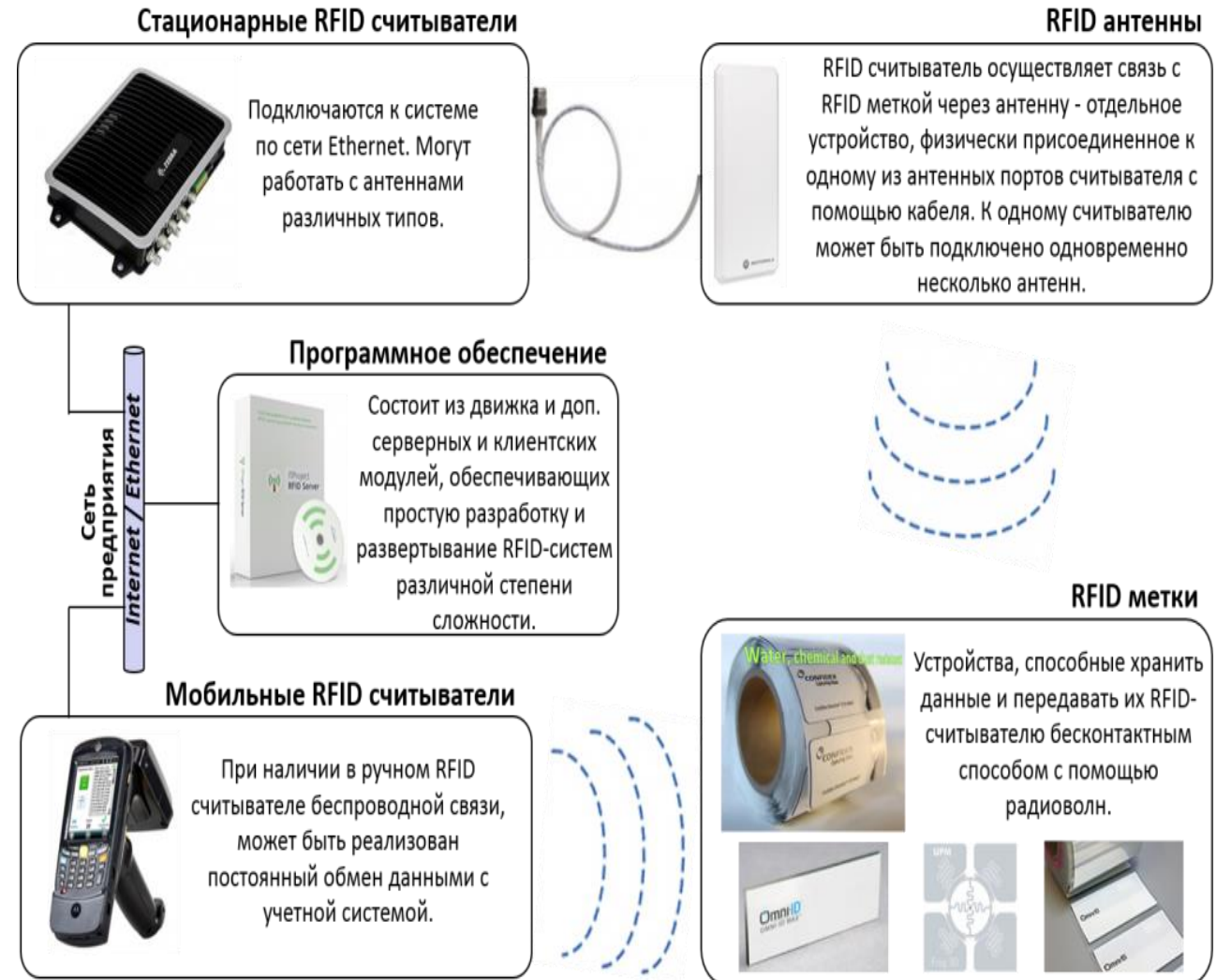
- Сетевые шлюзы (маршрутизаторы, коммутаторы)
- Локальные сети (Ethernet, LPWAN, WiFi, BlueTooth, ZigBee)
- Сенсоры, датчики, счетчики

Подключаемое оборудование

Среда сбора данных

RFID технология (Radio Frequency Identification)

- **RFID-система** состоит из двух элементов — **самой метки** (транспондер, тег) и **радиопередатчика**, который ее активирует
- в основе технологии лежит **радиочастотная передача и запись информации** (радиоволновым методом все необходимые данные записываются на чип, там сохраняются и при помощи специального устройства для сбора информации считываются с него)



RFID технология (Radio Frequency Identification)

Виды RFID-меток (тип питания):

- **Пассивные идентификаторы** — нет встроенного источника питания, необходимую для работы энергию получают от считывающего оборудования
- **Активные RFID-метки** — оснащены встроенной аккумуляторной батареей, с установленной периодичностью самостоятельно передают идентифицирующую информацию
- **Пассивные метки с встроенной батареей** — передача сигнала с такого идентификатора активируется при запросе, который поступает от радиопередатчика

Виды RFID-меток (тип установленной памяти):

- **RW** — можно многократно записывать и стирать идентифицирующую информацию
- **WORM** — можно записать необходимую информацию и многократно ее считывать, стереть сведения нельзя
- **RO** — информация записывается только один раз при изготовлении, стереть часть данных или добавить дополнительные сведения нельзя

Виды RFID-меток (частота):

- **сверхчастотные (860—960 МГц)** — метки с наибольшей дальностью действия, изначально разрабатывались для удобной организации складского хозяйства
- **высокочастотные (13,56 МГц)** — недорогие и экологически безопасные метки, используются в логистике и платежных системах, устанавливаются в карты для оплаты проезда в автобусах, метро и другом общественном транспорте и т.п.
- **низкочастотные (125—164 кГц)** — обычно применяются для чипирования животных и людей, не позволяют считывать информацию на большом расстоянии
- **ближнего действия (UNF)** — в отличие от остальных меток работают в условиях повышенной влажности, а также (за счет магнитного поля антенны) передают сигнал даже при наличии металлических частей в упаковке продукции

RFID технология (Radio Frequency Identification)

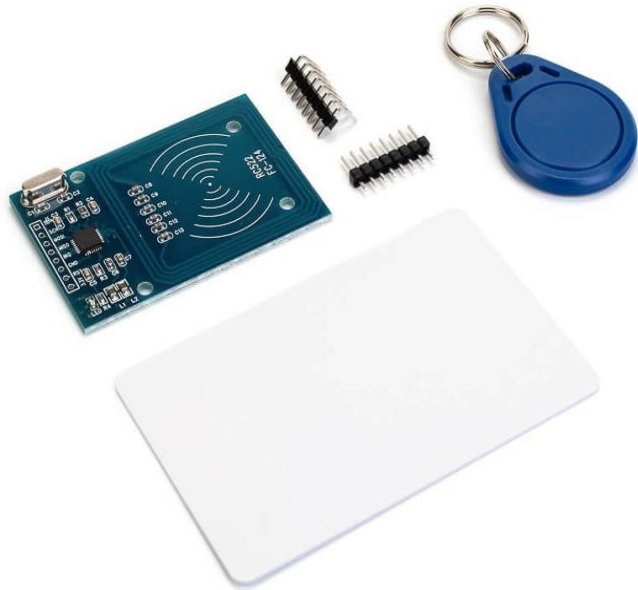
RFID-системы делятся на виды, в зависимости от используемой метки и радиопередатчика:

- **PRAT** — здесь используется активный транспондер и пассивный приемник информации, дальность работы системы может достигать 600 м
- **ARPT** — противоположность предыдущему типу: активное устройство для получения данных передает сигнал и принимает ответ от пассивного тега
- **ARAT** — передатчик в такой системе всегда активен, транспондер же может быть как активным, так и пассивным со встроенным аккумулятором.

Виды **считывателей**:

- **Мобильные устройства** — обычно не имеют постоянной связи с ПК или облачным хранилищем, всю полученную информацию накапливают в памяти и при подключении к компьютеру копируют ее на жесткий диск. Обладают небольшой дальностью действия. В некоторых случаях также, как и стационарные считыватели, могут не только получать, но и записывать информацию
- **Стационарное оборудование** — наиболее мощные и быстродействующие модели. Устанавливаются на столешницах, стенах или складских транспортных средствах (погрузчиках и т. п.), могут работать с антеннами различных типов. Подключаются к программируемым контроллерам, персональным компьютерам, интегрируются с установленной на предприятии системой управления

RFID технология (Radio Frequency Identification)



Преимущества:

- метки практически невозможно подделать, предусмотрена функция перезаписи неограниченное количество раз
- допускается интеграция микрочипов в любую часть объекта, стандарты European Article Number не используются
- микросхема вмещает до десяти гигабайт данных о предмете
- непосредственный контакт или прямая видимость не обязательны
- идентификация проводится на расстоянии около 300 м
- комплекс работает бесперебойно от 10 лет
- интеллектуальные решения принимаются в режиме онлайн
- технология может использоваться в самых агрессивных условиях, а метки читаться через краску, грязь, воду, пар, древесину
- групповой учет нескольких движущихся объектов – до двухсот меток.

Беспроводные сенсорные сети WSN (Wireless Sensor Networks)

- **Беспроводная сенсорная сеть**, или **беспроводная датчиковая сеть**, — распределённая, самоорганизующаяся сеть множества датчиков и исполнительных устройств, объединённых между собой посредством радиоканала
- **область покрытия** подобной сети может составлять от нескольких метров до нескольких километров за счёт способности ретрансляции сообщений от одного узла к другому
- беспроводные сенсорные сети состоят из миниатюрных вычислительных устройств — **мотов**, снабжённых датчиками (например, температуры, давления, освещённости, уровня вибрации, местоположения и т. п.) и передатчиками, работающими в заданном радиодиапазоне



Основаны, как правило, на технологии Zigbee

Беспроводные сенсорные сети WSN (Wireless Sensor Networks)

Преимущества:

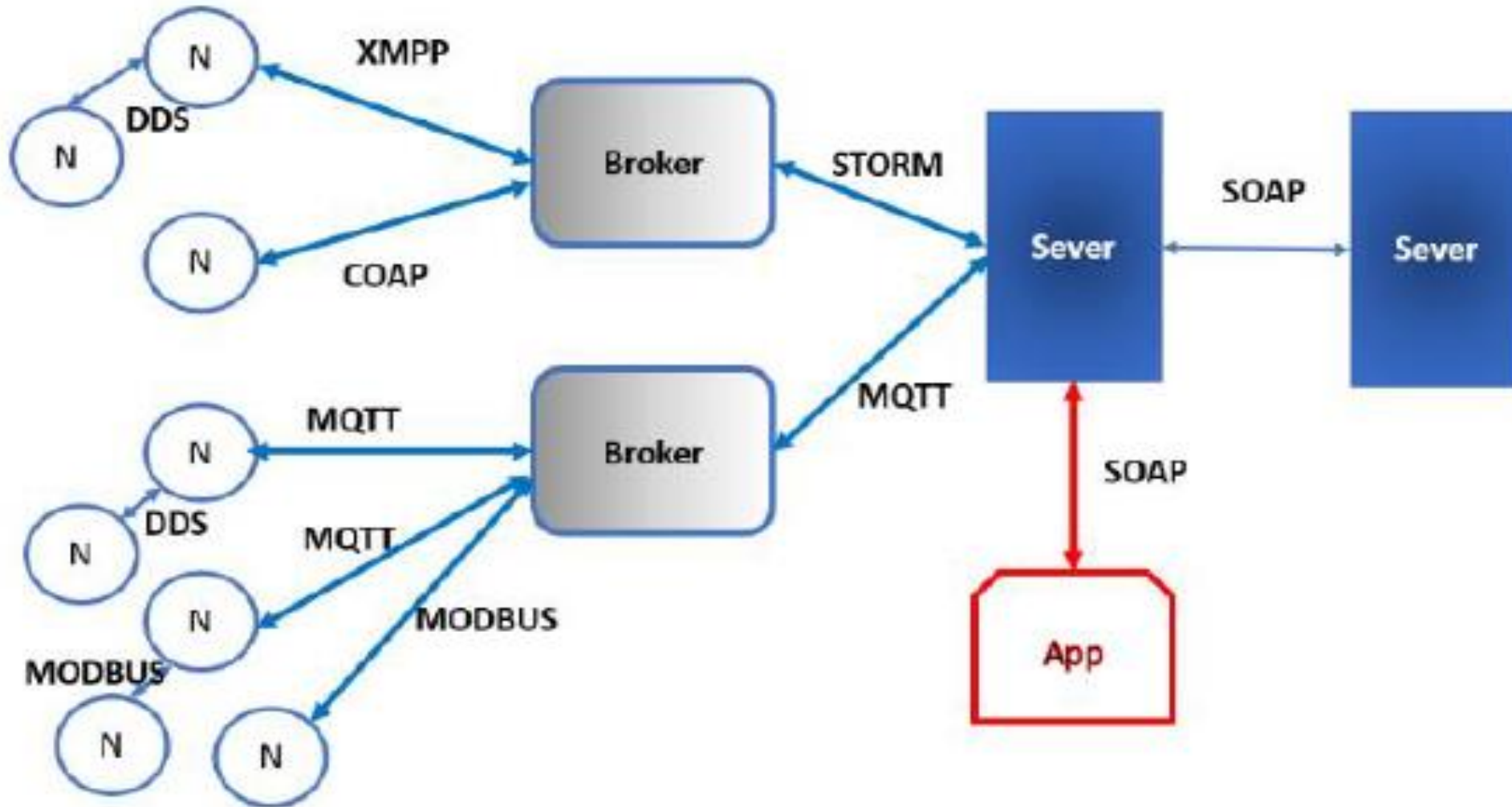
- отсутствие необходимости в прокладке кабелей для электропитания и передачи данных
- низкая стоимость комплектующих, монтажа, пуско-наладки и технического обслуживания системы
- быстрота и упрощенность развертывания сети
- надежность и отказоустойчивость всей системы в целом при выходе из строя отдельных узлов или компонентов
- возможность внедрения и модификации сети на любом объекте без вмешательства в процесс функционирования самого объекта
- возможность быстрого и при необходимости скрытного монтажа всей системы в целом

Инфраструктура локальных сетей Интернета вещей

Технология	Назначение	Базовые характеристики
BlueTooth	Персональные сети (PAN)	Низкая пропускная способность, малое энергопотребление
Wi-Fi	Локальные сети (LAN)	Высокая пропускная способность, высокое энергопотребление
ZigBee	Локальные сети (LAN)	Низкая пропускная способность, малое энергопотребление
GSM, GPRS, EC-GSM-IoT	Территориально распределенные сети (WAN), глобальное покрытие	Низкая пропускная способность, недорогие сотовые модемы
HSPA	Территориально распределенные сети (WAN), глобальное покрытие	Высокая пропускная способность, высокое энергопотребление, недорогие сотовые модемы
LTE, NB-IoT	Территориально распределенные сети (WAN), глобальное покрытие	Широкий диапазон скоростей, снижение стоимости и энергопотребления в будущих релизах 3GPP
Стриж	LPWAN -территориально распределенные сети с низким энергопотреблением	Низкая пропускная способность, малое энергопотребление, нелицензируемый диапазон частот (868 МГц)
LoRa	LPWAN - территориально распределенные сети с низким энергопотреблением	Низкая пропускная способность, малое энергопотребление, нелицензируемый диапазон частот
SigFox	LPWAN - территориально распределенные сети с низким энергопотреблением	Низкая пропускная способность, малое энергопотребление, нелицензируемый диапазон частот

Среда передачи данных

Сетевая инфраструктура Интернета вещей



Протокол Modbus

- **открытый коммуникационный протокол, основанный на архитектуре «клиент-сервер»**
- **широко применяется в промышленности для организации связи между электронными устройствами**
- **может использоваться для передачи данных через последовательные линии связи RS-485, RS-422, RS-232, а также сети TCP/IP (Modbus TCP)**
- **контроллеры на шине Modbus взаимодействуют, используя клиент-серверную модель, основанную на транзакциях, состоящих из запроса и ответа, их основа — элементарный пакет протокола, так называемый PDU (Protocol Data Unit)**

Протокол MQTT (Message Queue Telemetry Transport)

- предназначен для телеметрии и дистанционного мониторинга
- используется для обмена сообщениями между устройствами по принципу "издатель-подписчик", позволяет устройствам посылать и получать данные при возникновении некоторого события
- обладает встроенными средствами защиты (аутентификация)



Connect – установить соединение с брокером
Disconnect – разорвать соединение с брокером

Publish – опубликовать данные в топик на брокере
Subscribe – подписаться на топик на брокере
Unsubscribe – отписаться от топика

Сетевая инфраструктура

Протокол	Транспорт	Операции	Особенности
Modbus	TCP	Процедуры получения и отправки данных в режиме «клиент-сервер»	Имеет самое широкое распространение для Промышленного Интернета вещей
COAP	UDP	Процедуры записи и получения необходимых конкретных параметров	Представляет собой двоичную версию протокола HTTP, упрощенную под задачи транспортировки данных по линиям с ограниченной пропускной способностью
MQTT	TCP	Процедуры обработки публикаций/подписки	Поддерживает различные классы QoS и механизм очередей Имеет самое широкое распространение для Промышленного Интернета вещей
STORM	TCP	Процедуры публикаций/подписки Операции с транзакциями	Поддерживает операции с транзакциями Поддерживает большое количество совместимых библиотек
SOAP	TCP	Удаленный вызов методов Процедуры запроса параметров	Возможность удаленного вызова процедуры Нейтральность к платформе

Сетевая инфраструктура

- Основная проблема - большое количество объектов мониторинга и разнородных датчиков, с которых будут собираться данные
- В среднем один клиент (частное Домохозяйство ЖКХ) имеет около 50 датчиков
- Пул пользователей насчитывает около 20 миллионов клиентов
- Для передачи одного значения от датчика частного домохозяйства конечному брокеру необходимо передать около 350 байт информации
- Соответственно, одно чтение со всех устройств требует передачи примерно 325 ГБ информации
- Частота считывания устройства - одно сообщение в течение 10 минут
- Прогнозируемый объем данных, получаемых в год, может превысить 230 ТБ

Сетевая инфраструктура

Все рассматриваемые выше протоколы являются надстройками над стеком TCP/IP и используют его, как транспорт

Наиболее перспективным является MQTT, так как он поддерживает качество обслуживания, обеспечивает проверку доставки сообщений, обеспечивает "сквозную" связь, как от брокера к сенсорным узлам, так и от брокера к серверу

На уровне инфраструктуры для сбора данных между **контроллером управления и мониторинга** и контроллерами датчиков, счётчиков и модулей ввода/вывода, поддерживающих порты Ethernet 10/100 для подключения к IP сетям и Интернет (TCP/IP, UDP, HTTP(S) Modbus TCP, SNMP, MQTT, KNX IP), одновременно используется технологии GSM/3G модем, Wi-Fi, Bluetooth 4.0 и BluetoothLowEnergy, а также универсальный приёмопередатчик для работы со сторонними устройствами (433 MHz)

Платформы промышленного интернета

Облачные вычисления

- Существует несколько типов архитектур, которые можно построить на cloud computing (облачных вычислениях)
- Все они подразумевают распределенную логику обработки данных, так называемый preprocessing (препроцессинг)
- К ним относятся:
 - *туманные и облачные вычисления*
 - *граничные и облачные вычисления*
 - *граничные, туманные и облачные вычисления*

Облачные вычисления

Концепция облачных вычислений – централизованная модель обработки данных в центре удаленных данных

С увеличением объемов передаваемых данных и использования IoT:

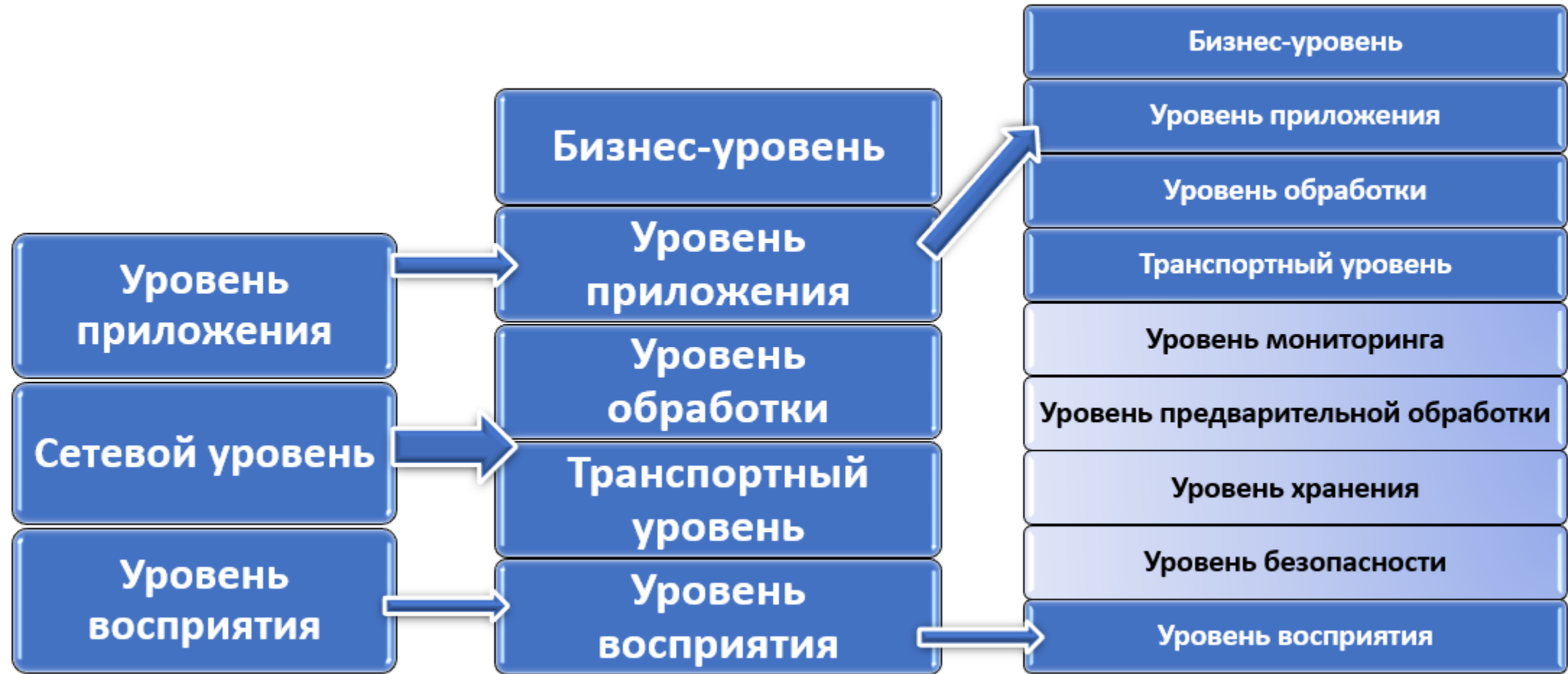
1. Данные с уровня восприятия IoT хранятся в огромных массивах, и между этими данными необходимо постоянно выявлять взаимосвязи и противоречия, т.е. вычислительные возможности с линейным ростом централизованных облачных вычислений не могут удовлетворить потребности обработки данных из нескольких источников данных
2. Пропускная способность сетей и скорость передачи данных стали слабым местом из-за увеличения количества пользователей (данные, сгенерированные устройствами IoT, к 2021 году превысят 847 зеттабайт , а IP-трафик глобального центра обработки данных сможет поддерживать только объем в 19,5 зеттабайт
3. Большинство конечных пользователей на краю сети, обычно являются мобильными устройствами, не имеющими достаточных вычислительных ресурсов для хранения и обработки большого количества информации, и ограниченные во время работы от батареи
4. Безопасность данных и сохранение конфиденциальности являются сложными задачами в «облачных» вычислениях из-за передачи информации на дальние расстояния и аутсорсинга, поэтому обработка данных на границе облака может снизить риск утечки информации

Граничные и туманные вычисления

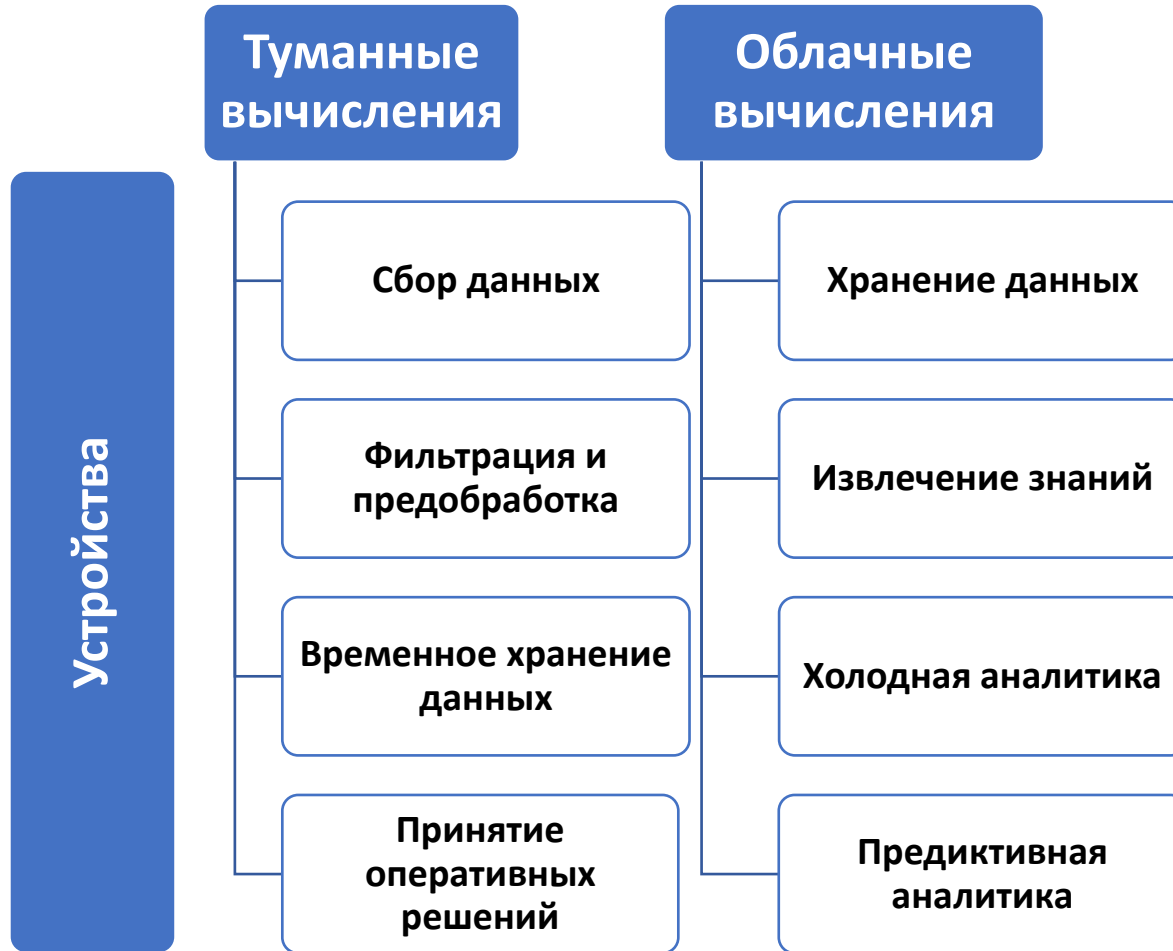
Граничные вычисления – новая вычислительная модель, которая позволят хранить, обрабатывать данные на границе сети и предоставлять интеллектуальные услуги вблизи источника данных совместно с «облачными» вычислениями

Туманные вычисления - предполагают перенос вычислений и хранения данных из традиционного облака в промежуточный слой устройств, расположенных ближе к краю сети, что позволяет сократить нагрузку на коммуникационную среду и устройства

Облачные, граничные и туманные вычисления

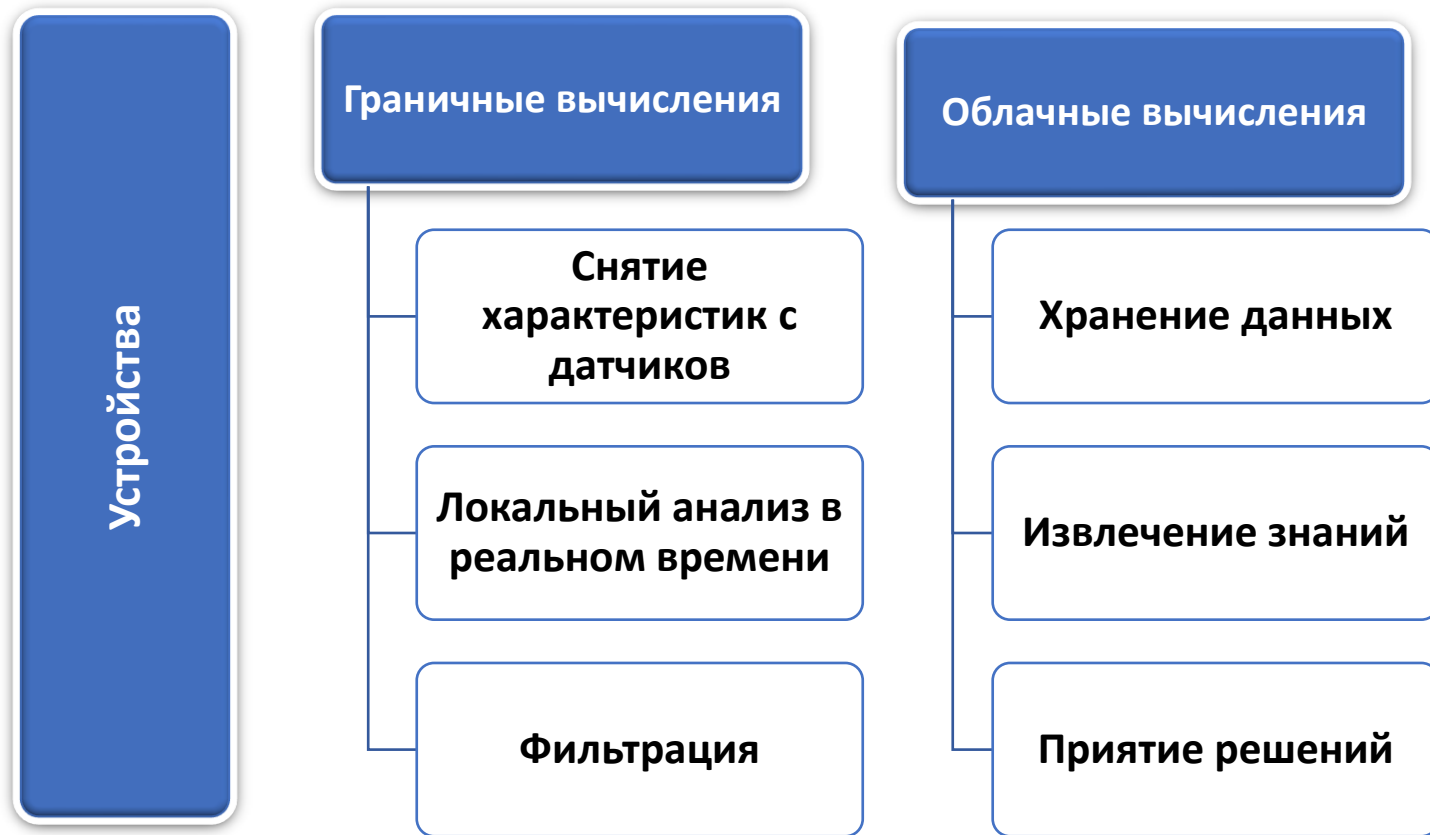


Туманные и облачные вычисления



Основная идея туманных вычислений состоит в том, чтобы отфильтровать и обработать данные до того, как они поступят на облачный сервер, т.е. использовать локальные вычислительные мощности, но не прекращать взаимодействие с облачными сервисами

Граничные и облачные вычисления



Основная идея граничных вычислений состоит в том, чтобы отфильтровать и обработать данные на устройствах, расположенных как можно ближе к инженерным объектам

Граничные , туманные и облачные вычисления



Приложения

Примеры внедрения интернета вещей в России

Направление	Компания	Задачи
Системные интеграторы и ИТ-сервисы	Техносевр, Сибинтек, Айтеко, Revolta Engineering	- подборка оптимальных платформ - разработка новых решений - внедрение технологий на предприятиях
Системы информационной безопасности	Лаборатория Касперского	- обеспечение безопасности в решениях IoT
ИТ-сервисы и Интернет-платформы для транспорта	ТранспортТВ, StarLine, Яндекс + КАМАЗ	- производство беспилотного транспорта - предоставление информационно-медийных услуг на общественном транспорте - организация системы безопасности для автотранспорта - развертывание умной транспортной инфраструктуры
ИТ-решения в энергетике и ЖКХ	Перспективные линейные технологии, Стриж Телематика	- поставка измерительного оборудования и различных решений для сферы энергетики и ЖКХ
ИТ-решения для сельского хозяйства	Neoflex, Revolta Engineering	- поставка интеллектуальных систем для оптимизации и повышения эффективности с/х
ИТ-системы и устройства для Умного дома	GS Group, Аквасторож	- разработка решений для Умного дома
Платформы и облачные решения для Интернета Вещей	Яндекс, 1С, Ростелеком, Tibbo Системы	- разработка платформ для автоматизации бизнес процессов - разработка облачных платформ для хранения данных - разработка ПО для систем управления и мониторинга
Электроника	Микрон, Ангстрем, Т8, Т-Платформы	- построение платформенных аппаратных решений, сетей и инфраструктуры для IoT - поставка микроэлектронных компонентов и датчиков, компьютеров, сетевого и телекоммуникационного оборудования
Связь	МТС, МегаФон, Билайн, Теле2, Ростелеком	- стимулирование внедрения технологий IoT - развитие услуг M2M

Измеримые показатели эффективности IoT-решений по отраслям

Отрасль	Показатели эффективности
Энергетика и ЖКХ	<ul style="list-style-type: none">- увеличение доходов- экономия ресурсов- сокращение сроков планирования нагрузок сети- оперативная замена устаревшего и неисправного оборудования и элементов сети
Промышленность	<ul style="list-style-type: none">- сокращение производственного цикла- снижение эксплуатационных расходов- оптимизация планирования- повышение времени бесперебойной работы оборудования и сокращение его простоев- улучшение качества продукции
Транспорт и логистика	<ul style="list-style-type: none">- снижение расходов топлива- уменьшение времени простоя транспортных средств- сокращение времени на проведение проверок технического состояния- снижение зависимости от работы диспетчеров- оптимизация затрат на логистику
Торговля и финансы	<ul style="list-style-type: none">- повышение продаж- уменьшение затрат на операционное обслуживание торговых автоматов- удаленное решение неисправностей банкоматов- сокращение простоев автоматов- снижение расходов автострахования
«Умный» город и безопасность	<ul style="list-style-type: none">- снижение мошенничества при оплате парковок- снижение затрат на уличное освещение- оптимизация городского движения
Сельское хозяйство	<ul style="list-style-type: none">- экономное использование с/х ресурсов- снижение расходов на с/х процессы- повышение доходности на единицу поголовья скота

Типовые угрозы и уязвимости промышленного интернета

Типовые угрозы:

кибербезопасность

юридические угрозы

угрозы, связанные с деятельностью регулирующих органов

отсутствие стандартов

Незащищенный веб-интерфейс

- невозможность изменения верительной информации, установленной по умолчанию
- «слабые» пароли
- уязвимость для атак на основе межсайтовых скриптов, подделки запросов и записей SQL

Слабость средств аутентификации и проверки полномочий

- Отсутствие механизмов контроля доступа

Незащищенные сетевые сервисы

Отсутствие шифрования данных и проверки целостности при передаче

Отсутствие обеспечения конфиденциальности

Недостаточные возможности настройки параметров безопасности

- отсутствие разделения полномочий администратора и пользователя
- отсутствие журнала безопасности и возможности предупреждений пользователей о событиях безопасности
- отсутствие возможности выбора механизмов шифрования
- наличие «слабых» паролей

Незащищенное программное или микропрограммное обеспечение

- отсутствие механизмов защиты обновлений
- незащищенный сервер обновлений

Недостаточная физическая защищенность

- наличие доступа к ПО через порты USB
- наличие съемных носителей информации

Правовое регулирование Интернета вещей

- Дорожная карта развития высокотехнологичной области «Интернет вещей» утверждена протоколом заседания президиума Правительственной комиссии по цифровому развитию, использования информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности от 8 декабря 2020 г. № 31
- В 2019-2020 годах приняты два стандарта промышленного интернета вещей
 - ГОСТ Р ИСО/МЭК 29161—2019 «Информационные технологии (ИТ). Структура данных. Уникальная идентификация для интернета вещей» (введен 01.03.2020)
 - ГОСТ Р 58603—2019 «Информационные технологии (ИТ). Интернет вещей. Протокол организации очередей доставки телеметрических сообщений MQTT. Версия 3.1.1» (введен 01.01.2021).
- Утверждены предварительные национальные стандарты (ПНСТ), раскрывающие такие IoT-протоколы, как NB-Fi и LoRaWAN RU